

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Leon Lepoša

Zagreb, 2009

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Voditelji rada:
Doc.dr.sc. Vladimir Soldo
Marino Grozdek, dipl.ing.

Leon Lepoša

Zagreb, 2009

Zahvala

Zahvaljujem se svojim mentorima na ukazanom povjerenju prilikom prihvatanja mentorstva za ovaj rad, iskazanoj potpori i savjetima danima prilikom njegove izrade. Također zahvaljujem se nekolicini profesora na danim savjetima kao i svojoj obitelji i djevojci bez čijeg strpljenja i bezuvjetne potpore ovog rada ne bi bilo.

Sažetak rada

Za potrebe „Završnog rada“ preddiplomskog dijela studija napravljena je analiza potrošnje energije za hlađenje i grijanje karakteristične zgrade u programskom sučelju „TRNSYS 16“. Analizirana su 24 različita slučaja u ovisnosti o tipu zgrade, gradu u kojem se nalaze te vrsti zasjenjenja na prozorima. Dobiveni rezultati su uspoređeni i verificirani sa danas prihvatljivim proračunskim alatima, te su dani neki opći prijedlozi i zaključci kako smanjiti potrošnju energije za potrebe hlađenja i grijanja.

Interpretacijom danih rezultata može se doći do zaključaka na koji se način može uštedjeti energija potrebna za grijanje ili hlađenje. Promatranjem energije potrebne za grijanje dolazi se do zaključka da je jedini bitan parametar, uz naravno klimatske parametre, vrsta i debljina izolacije na zidovima. Usporedbom zgrade građene bez izolacije sredinom prošlog stoljeća i današnjeg tipa gradnje vidi se da se energija potrebna za grijanje smanjila i do 4 puta.

Nasuprot tome energija potrebna za hlađenje prostora ne ovisi toliko o tipu zgrade i količini izolacije, koliko ovisi o tipu zasjenjenja na prozorima. Razlog tome je presudan utjecaj sunčevog zračenja na toplinske dobitke prostora. Primjer toga se može vidjeti ukoliko se usporedi ista zgrada, u istom gradu, sa i bez zasjenjenja. Ušteda koja se ostvari ako se postavi zasjenjenje može biti i dvostruka. Unutar ovog rada svi ti slučajevi će biti obrađeni i prezentirani te će se pokušati dati neka opća slika dobivenih rezultata uz zaključke koji slijede iz toga.

Sadržaj

1. Uvod
2. Matematički opis simulacijskog modela
 - 2.1 Važni utjecaji za promatranje energetske analize
 - 2.2 TRNSYS 16
 - 2.3 Komponente modela korištene pri simulaciji
 - 2.3.1 TYPE 109-TMY2: Meteonorm meteorološki podaci
 - 2.3.2 TYPE 33e: Psihrometar
 - 2.3.3 TYPE 69b: Izračun temperature neba
 - 2.3.3.1 Matematički model izračuna temperature neba
 - 2.3.4 TYPE 56a: Višezonski objekt i TRNBuild
 - 2.3.4.1 Općeniti opis, Type 56a
 - 2.3.4.2 Općeniti matematički opis, Type 56a
 - 2.3.4.2.1 Toplinska zona
 - 2.3.4.2.2 Konvektivni toplinski tok u zoni
 - 2.3.4.2.3 Zračenje na zidove
 - 2.3.4.2.4 Prolaz topline kroz zidove i prozore
 - 2.3.4.2.5 Dugovalno zračenje
 - 2.3.4.2.6 Infiltracija i ventilacija
 - 2.3.4.2.7 Model prozora
 - 2.3.4.2.8 Bilanca vlage
 - 2.3.4.3 TRNBuild – stvaranje modela objekta
3. Rezultati
 - 3.1 Objekti
 - 3.1.1 Objekti sagrađeni prije 1986. godine
 - 3.1.2 Objekti sagrađeni između 1986. i 2008. Godine
 - 3.1.3 Objekti sagrađeni nakon 2008. godine
 - 3.2 Promatrani slučajevi
 - 3.3 Ukupno rashladno i toplinsko opterećenje
 - 3.4 Objekt sagrađen prije 1986. godine, smješten u Zagrebu
 - 3.4.1 Prikaz rezultata ostalih slučajeva, slučajevi 1, 2, 3 i 4
 - 3.5 Objekt sagrađen između 1986. i 2008. godine, smješten u Zagrebu
 - 3.5.1 Prikaz rezultata ostalih slučajeva, slučajevi 5, 6, 7, i 8
 - 3.6 Objekt sagrađen nakon 2008. godine, smješten u Zagrebu
 - 3.6.1 Prikaz rezultata ostalih slučajeva, slučajevi 9, 10, 11, 12 te preporučeni slučaj
 - 3.7 Objekt smješten u Splitu
 - 3.7.1 Objekt sagrađen nakon 2008. Godine
 - 3.7.2 Prikaz ostalih rezultata dobivenih za Split, slučajevi od 13 do 24
 - 3.8 Usporedba rezultata dobivenih za Zagreb i Split
 - 3.9 Utjecaj veličine prozora na potrošnju energije za hlađenje
4. Potvrda dobivenih rezultata
 - 4.1 Ograničenja
 - 4.2 Potvrda modela grijanja
 - 4.2.1 Zagreb
 - 4.2.2 Split
 - 4.3 Potvrda modela hlađenja
5. Prijedlozi za gradnju objekta
6. Prijedlozi za buduća istraživanja
7. Zaključak

Popis slika

- Slika 1. Matematički model u TRNSYS-u
- Slika 2. Zračenje na zidove
- Slika 3. Prolaz topline kroz zid
- Slika 4. Detaljni model prozora
- Slika 5. Otvaranje TRNBuild-a
- Slika 6. Opis novog projekta
- Slika 7. Određivanje osnovnih konstanti
- Slika 8. Nova zona
- Slika 9. Prvi korak projektiranja
- Slika 10. Modeliranje zidova
- Slika 11. Zidovi
- Slika 12. Princip rada zasjenjenja
- Slika 13. Infiltracija
- Slika 14. Ventilacija
- Slika 15. Grijanje
- Slika 16. Hlađenje
- Slika 17. Unutarnji dobici topline
- Slika 18. Satna raspodjela energije za hlađenje, slučaj 3
- Slika 19. Satna raspodjela energije za grijanje, slučaj 3
- Slika 20. Satno opterećenje za hlađenje, 10. kolovoz
- Slika 21. Satno opterećenje za grijanje, 12. siječanj
- Slika 22. Satni prikaz temperatura kritičnih površina za slučaj 3
- Slika 23. Ovisnost toplinskih dobitaka o zasjenjenju za slučajeve 1, 2, 3 i 4
- Slika 24. Satno opterećenje za hlađenje, 20. kolovoz
- Slika 25. Satno opterećenje za grijanje, 13. siječanj
- Slika 26. Satni prikaz temperatura kritičnih površina, slučaj 8
- Slika 27. Ovisnost toplinskih dobitaka o zasjenjenju za slučajeve 5, 6, 7, i 8
- Slika 28. Satno opterećenje za hlađenje, 20. kolovoz
- Slika 29. Satno opterećenje za grijanje, 13. siječanj
- Slika 30. Satni prikaz temperatura kritičnih površina, preporučeni slučaj
- Slika 31. Ovisnost toplinskih dobitaka o zasjenjenju, za slučajeve 9, 10, 11, 12 te preporučeni slučaj
- Slika 32. Satna raspodjela energije za hlađenje, preporučeni slučaj
- Slika 33. Satna raspodjela energije za grijanje, preporučeni slučaj
- Slika 34. Satno opterećenje za hlađenje, 20. kolovoz
- Slika 35. Satno opterećenje za grijanje, 15. siječanj
- Slika 36. Satni prikaz temperatura kritičnih površina za preporučeni slučaj
- Slika 37. Razlika toplinskih dobitaka za Zagreb i Split, 20. kolovoz
- Slika 38. Toplinski gubici za Zagreb (12. siječanj) i Split (13. siječanj)
- Slika 39. Utjecaj veličine prozora na relativno rashladno opterećenje
- Slika 40. Usporedni satni prikaz rezultata za objekt bez zasjenjenja na prozorima
- Slika 41. Usporedni satni prikaz rezultata za objekt sa vanjskim zasjenjenjem na prozorima
- Slika 42. Usporedni satni prikaz rezultata za objekt sa oba zasjenjenja na prozorima

Popis tablica

Tablica 1.	Infiltracija
Tablica 2.	Građevinski podaci o objektu sagrađenom prije 1986. godine
Tablica 3.	Građevinski podaci o objektu sagrađenom između 1986. i 2008. godine
Tablica 4.	Građevinski podaci o objektu sagrađenom nakon 2008. godine
Tablica 5.	Ovisnost koeficijenta propuštanja o kutu zakreta žaluzina
Tablica 6.	Istraživani slučajevi
Tablica 7.	Energija potrebna za grijanje i hlađenje za sve ispitane slučajeve
Tablica 8.	Mjesečni prikaz energije potrebne za hlađenje i grijanje za slučaj 3
Tablica 9.	Ovisnost relativnog rashladnog opterećenja o vrsti zasjenjenja
Tablica 10.	Mjesečni prikaz energije potrebne za hlađenje i grijanje, slučaj 8
Tablica 11.	Ovisnost relativnog rashladnog opterećenja o vrsti zasjenjenja
Tablica 12.	Mjesečni prikaz energije potrebne za hlađenje i grijanje, za preporučeni slučaj
Tablica 13.	Ovisnost relativnog rashladnog opterećenja o vrsti zasjenjenja
Tablica 14.	Mjesečni prikaz energije potrebne za hlađenje i grijanje, preporučeni slučaj
Tablica 15.	Mjesečni prikaz energije potrebne za grijanje i hlađenje objekta sagrađenog prije 1986. Godine, slučaj 15
Tablica 16.	Mjesečni prikaz energije potrebne za grijanje i hlađenje objekta sagrađenog između 1986. i 2008. Godine, slučaj 20
Tablica 17.	Maksimalno toplinsko i rashladno opterećenje za kritični dan za Split
Tablica 18.	Promatrani slučajevi
Tablica 19.	Ovisnost relativnog rashladnog opterećenja o veličini prozora
Tablica 20.	Usporedba maksimalnih toplinskih gubitaka za Zagreb
Tablica 21.	Usporedba maksimalnih toplinskih gubitaka za Split
Tablica 22.	Vršni toplinski dobici za kritičan dan

Izjava

Ja, Leon Lepoša autor „Završnog rada“ na temu „Analiza potrošene energije za hlađenje i grijanje karakteristične zgrade“ izjavljujem pod punom odgovornošću da sam samostalno izradio ovaj rad na temelju dostupnih materijala (literature, priručnika, članaka, itd.), vlastitog iskustva i teorijskog znanja stečenog na Fakultetu strojarstva i brodogradnje – Sveučilište u Zagrebu kao student usmjerenja „Termotehnika“ na „Procesno-energetskom“ smjeru.

Leon Lepoša

potpis

1. UVOD

Razvojem ljudske svijesti za što većom energetsom učinkovitosti, te samim poskupljenjem gotovo svih energenata javila se potreba za što preciznijim proračunima ukupne potrošnje energije za grijanje i hlađenje ne bi li se održavala zadovoljavajuća temperatura i vlažnost zraka u prostoru tijekom cijele godine. Iako naravno postoje razni proračuni za toplinske gubitke, odnosno toplinske dobitke prostora, većina njih se bazira na maksimalnom opterećenju u nekom projektnom danu kako bi dali kao rezultat maksimalnu količinu topline koja se mora oduzeti ili ubaciti u prostor. Svi ti proračuni služe kako bi se dimenzionirao rashladni odnosno ogrjevni sustav.

Zbog potrebe za što bržim projektiranjem sustava kako za grijanje tako i za hlađenje danas postoji niz brzih i jednostavnih metoda ne bi li se što jednostavnije i sa što manjom pogreškom došlo do rješenja. Za grijanje tako postoje norme DIN 4701 te europska norma EN 12831 koje govore o maksimalnim toplinskim gubicima prostora. Pomoću tih dviju normi dimenzionira se oprema potrebna za grijanje. Pri projektiranju grijanja postoji još jedan postupak, proračun stupanj-dan koji daje odgovor na pitanje kolika je potrebna godišnja količina energije za grijanje. Međutim, kako norme tako i proračun stupanj-dan prikazuje rezultate temeljene na nekim srednjim vrijednostima i koeficijentima poput vanjske projektne temperature, te prosječne temperature prostora i okoliša. Naravno da ti proračuni onda nisu potpuno točni jer je problem potrebno promatrati nestacionarno, a ne stacionarno kako je učinjeno u ovim metodama.

Pri određivanju toplinskih dobitaka neke prostorije veliki broj parametara ima utjecaj na konačne rezultate. Primjerice, insolacija koja je kod grijanja zanemarena ovdje ima ključan utjecaj. Utjecaj i interakcija svih tih parametara zahtijeva korištenje nestacionarne analize te računala za izradu proračuna. Međutim zbog kompleksnosti takvih proračuna, u inženjerskoj su se praksi javile određene metode koje uz male pogreške dolaze brzo i jednostavno, u samo jednom koraku do prihvatljivih rješenja. Primjeri takvih metoda jesu: CLTD/CLF (Cooling Load Temperature Difference/ Cooling Load Factor) metoda, te RLF (RESIDENTIAL LOAD FACTOR). CLTD/CLF metoda je bazirana na empirijski dobivenim koeficijentima, te zbog svojih ograničenja i netočnosti pri određivanju empirijskih faktora daje prevelike vrijednosti toplinskih opterećenja te se u svezi s time gotovo su uvijek rashladni uređaji predimenzionirani. RLF metoda je temeljena na HB metodi ali je znatno jednostavnija te se koriste proračunske tablice za izračun toplinskog opterećenja, prema ASHRAE Fundamentals 2005, Poglavlje 29.

Nabrojavši sve probleme i ograničenja ručnih metoda proračuna, jasno se vidi zašto postoji potreba za temeljitijom i točnijom analizom energije potrebne za grijanje i hlađenje određenog prostora. Kao što je već spomenuto ne bi li se dobila detaljna energetska analiza potrebno je u obzir uzeti nestacionarne uvjete. Simulacija nestacionarnih uvjeta danas je nezamisliva bez upotrebe računala, pa je upravo zbog toga pri izradi ovog rada korišten računalni program „Trnsys 16“, koji već u sebi ima integrirane određene matematičke modele potrebne za izradu ovog rada.

Naravno da i ovaj rad ima neke svoje zahtjeve i ograničenja. Prilikom postavljanja matematičkog modela, naglasak će biti stavljen na samostalan stambeni objekt sastavljen od četiri zida, poda te ravnog krova, površine 250 m², opisan kao jednozonoski.

Taj objekt će biti postavljen na dvije geografske lokacije (Zagreb, Split) ne bi li se vidio utjecaj dvije prevladavajuće klime u Republici Hrvatskoj, kontinentalna te mediteranska. Prilikom modeliranja građevnih dijelova objekta u obzir će se uzeti tehnički propisi i pravilnici o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama donesenim prije 1986., u razdoblju od 1986. do 2008. godine te nakon 2008. godine.

2. Matematički opis simulacijskog modela

2.1. Važni utjecaji za promatranje energetske analize

Za početak promatranja energetske analize mora se prvo promotriti koji su to parametri koji utječu na toplinske tokove vezane za objekt. Prvi i najbitniji parametar jesu konstrukcijska obilježja zgrade. U ovisnosti o tome kako je objekt građen, tj. u kojem razdoblju (tehnički propisi i pravilnici su se postroživali tokom godina) ovisiti će količina energije potrebne za grijanje, odnosno za hlađenje. Stariji objekti građeni su gotovo bez izolacije te je stoga kod njih koeficijent prolaza topline „ U “ [W/m^2K] znatno veći nego kod novogradnje, uz veće energetske tokove kroz zidove, podove ili stropove, prema Galović A., Termodinamika 2 (2003.). Drugi bitan konstrukcijski element pri određivanju energetske opterećenja nekog prostora su prozori. Nije svejedno jesu li prozori jednostruki drveni (veliko propuštanje i visok koeficijent prolaza topline), da li su stari drveni, ali dvostruki, ili se radi o alu-plastici novijeg tipa. Ti su prozori u pravilu dvostruki, u nekim zemljama postoje čak i trostruki, a prostor između dva stakla punjen je inertnim plinom (Argonom ili Kriptonom). Takva vrsta prozora ima vrlo mali koeficijent propuštanja zraka te vrlo dobra izolacijska svojstva. Naravno da se danas mogu napraviti prozori kod kojih ne dolazi do propuštanja zraka, međutim zakonska nam regulativa kaže da prodor vanjskog zraka ukoliko ne postoji mehanička ventilacija mora biti minimalno 0,5 izmjena volumena po satu, prema I. Balen: Podloge za predavanja iz kolegija „Grijanje“. Pri analizi toplinskog opterećenja određenog prostora, tj. pri određivanju potrebne energije za hlađenje prostora javlja se još jedan vrlo bitan konstrukcijski element, zasjenjenje na prozorima. Ono može biti unutarnje ili vanjsko, a ima vrlo velik utjecaj zato što na toplinsko opterećenje značajan utjecaj ima sunčevo zračenje. Bez ikakvih zasjenjenja većina sunčevog zračenja koje, ulazi u prostoriju te grije površine koje potom griju sam prostor. Nadalje, prilikom proračunavanja toplinskih dobitaka i gubitaka presudan utjecaj imaju vremenski uvjeti, a s tim je povezana i geografska lokacija određenog objekta. Vremenski period kroz koji se skupljaju podaci o vremenu ne bi smio biti manji od 12 godina (većina svjetskih meteoroloških postaja) dok bi idealan period sakupljanja podataka trebao biti 20 godina. Ovo sve dosad opisano su, osim same konstrukcije zgrade, bili vanjski utjecaji na stanje u prostoru, međutim postoje i neki unutarnji toplinski dobici koji se moraju uzeti u obzir pri proračunu. Ti dobici se mogu najčešće podijeliti u tri kategorije: osjetni i latentni dobici topline u prostoru od ljudi, osjetni i latentni dobici od opreme, te osjetni dobici topline od rasvjete instalirane u prostoru. Podaci koji su korišteni prilikom provođenja ove analize su sljedeći: kao jedan od najutjecajnijih parametara jesu meteorološki podaci, zatim ukoliko se u obzir želi uzeti dugovalno zračenje sa vanjskih zidova prema nebu, mora se uvesti fiktivna temperatura neba, za koju je potrebno poznavati temperaturu rosišta vanjskog zraka, te ostali gore navedeni parametri vezani za sam objekt koji se promatra. Za matematički opis ovako složenog modela nužna je upotreba računala prilikom simulacija. Pri izradi ovog rada i rješavanju ovog problema koristio se računalni program „TRNSYS 16“. Matematički model i sve jednačbe opisane su pomoću TRNSYS priručnika iz 2000. Godine.

2.2. TRNSYS 16

TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation program) je program koji omogućuje potpunu simulaciju tranzijentnih sustava, uključujući građevine sa više zona. Upotrebljavaju ga inženjeri i istraživači diljem svijeta ne bi li validirali neke nove koncepte u promatranju energetske tokova. Koristi se za projektiranje toplovodnih sustava u obiteljskim kućama. Najznačajnija primjena ovog programa jest pri projektiranju i simulaciji ponašanja objekta i ugrađene opreme, uključujući regulaciju, ponašanje korisnika prostora, te mogućnosti upotrebe obnovljivih izvora energije (vjetar, sunce, fotonaponske ćelije, itd.).

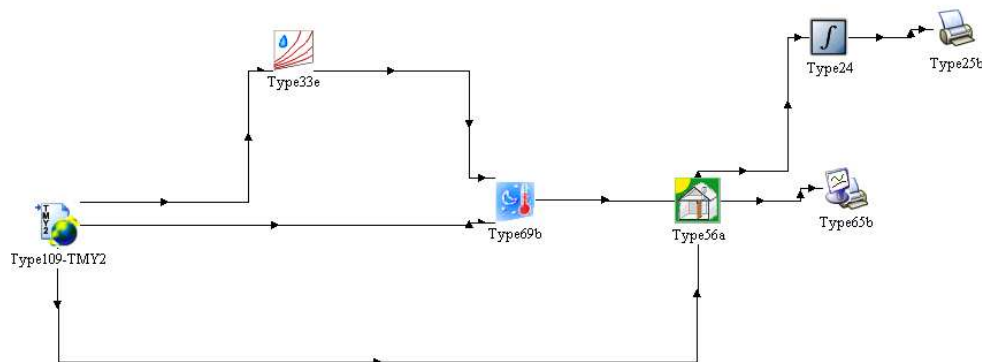
Jedna od najvećih prednosti i ključni detalj ovog programa je njegova otvorena, modularna struktura. Izvorni kod, kao i komponente modela dostavljene su krajnjim korisnicima.

DLL bazirana struktura omogućuje korisnicima i trećim stranama da vrlo jednostavno dodaju vlastite komponente modela, koristeći se standardnim programskim jezicima (C, C++, PASCAL, FORTRAN, itd.). Nadalje, TRNSYS se lako može povezati s drugim programima za pred ili naknadnu obradu podataka. TRNSYS uključuje:

- Solarne sustave
- Niskoenergetske kuće i GViK sustave složenih projektnih obilježja (prirodna ventilacija, panelno grijanje odnosno hlađenje, dupla fasada, itd.)
- Sustave sa obnovljivim izvorima energije
- Kogeneracije, gorive ćelije
- I sve što zahtijeva dinamičku simulaciju

2.3. Komponente modela korištene pri simulaciji

Prilikom postavljanja matematičkog modela koji bi dovoljno dobro mogao opisati izmjenu energije između okoline i prostora, koristili smo se već predefiniranim modelima koje nudi računalni program TRNSYS.



Slika 1. Matematički model u TRNSYS-u

Kao što je vidljivo prilikom postavljanja matematičkog modela korišteni su sljedeći podaci. Jedan od najbitnijih parametara za analizu ovog tipa jesu meteorološki podaci (vanjska temperatura, vlažnost zraka, količina sunčevog zračenja, itd.) koji su u ovaj matematički model uneseni preko modula „Type 109-TMY2“. Nadalje, prilikom izrade ovog proračuna uzeta je u obzir fiktivna temperatura neba, koja se koristi za određivanje dugovalnog zračenja sa vanjskih površina zgrade na nebo („Type 69b“). Za određivanje fiktivne temperature neba potrebno je poznavati temperaturu rosišta vanjskog zraka, a za izračunavanje iste koristimo modul „Type 33e“: Psihrometar. Najvažniji modul je „Type 56a“ koji objedinjuje sve ulazne podatke i promatrani objekt, vrši proračun te kao izlazni podatak daje energetske tokove između objekta i okoline, temperature prostora, zidova, itd. Izlazni podaci modula „Type 56a“ dani su tablično za svaki sat u godini. Ukoliko se žele dobiti mjesečni podaci potrebno je upotrijebiti integrator, na slici označen kao „Type 24“. Konačno, modul „Type 65b“ i modul „Type 25b“ služe kako bi izlazne podatke zapisali u tablice. Njihov redoslijed i način povezivanja prikazan se na Slici 1., a biti će detaljno objašnjeni u narednim poglavljima.

2.3.1 TYPE 109-TMY2: Meteorologički podaci

Ovaj modul služi kako bi se uveli meteorološki podaci u matematički model. Koristi standardnu datoteku sa svim mjerenim meteorološkim podacima. Podaci su prikupljeni na Meteorologičkim meteorološkim stanicama. Tih meteoroloških stanica ima više od 1000, u više od 150 zemalja svijeta. U Europi konkretno ima 369 stanica u 35 zemalja, a Hrvatska je pokrivena sa 3 stanice, i to na lokacijama: Parg, Split te Zagreb/Maksimir.

Parametri koje moramo unijeti u ovaj modul:

- Koji model će se koristiti za izračunavanje difuznog zračenja na površinu → odabran Perezov model, smatra se trenutno najtočnijim
- Na koji tip površine se računa sunčevo zračenje → odabrana fiksna površina

Ulazni podaci jesu:

- Koeficijent refleksije površine Zemlje
- Broj površina, njihov azimut (npr. za površinu koja gleda prema ekvatoru azimut je 0°), te nagib u odnosu na zemlju
- Baza podataka koja sadrži sve vremenske relevantne podatke (podatak dobiven od Meteorologičke)

Izlazni podaci jesu:

- Postoji veliki broj izlaznih podataka, svi podaci koji se mogu naći u ulaznim vremenskim podacima: vanjska temperatura, relativna vlažnost, brzina vjetra, tlak zraka, direktna, difuzna i ukupna zračenja na sve površine posebno, itd.

Izlazni podaci ovog modula zapravo su ulazni podaci za sljedeće module: Type 33e, Type 69b, te Type 56a.

2.3.2 TYPE 33e: Psihrometar

Ovom modulu ulazni podatak je temperatura suhog termometra i još jedan podatak, ovisno o tome koja će se vrsta modula koristiti. Taj drugi podatak može biti: temperatura vlažnog termometra, relativna vlažnost zraka, temperatura rosišta te entalpija. U prikazanom primjeru korišten je model „e“, te su ulazni podaci:

- Temperatura suhog termometra ($^{\circ}\text{C}$)
- Relativna vlažnost zraka (%)
- Atmosferski tlak (Napomena: mjerna jedinica je 1 atm)

Izlazni podaci jesu:

- Udio vlage – ω (kg vode/ kg suhog zraka)
- Temperatura vlažnog termometra - T_{wb} ($^{\circ}\text{C}$)
- Entalpija – h (kJ/kg suhog zraka)
- Gustoća zraka (suhi zrak + vlaga) - ρ_{mix} (kg/m^3)
- Gustoća suhog zraka - ρ_{air} (kg/m^3)
- Relativna vlažnost – RH (%)
- Temperatura rosišta - T_{dp} ($^{\circ}\text{C}$)
- itd

Izlazni podatak dobiven ovim modulom koji ćemo dalje koristiti kao ulazni podatak za modul Type 69b je temperatura rosišta vanjskog zraka.

2.3.3 TYPE 69b: Izračun temperature neba

Ova komponenta se koristi za izračun fiktivne temperature neba. Uz pomoć fiktivne temperature neba u proračun se može uzeti u obzir i količina izmijenjenog dugovalnog zračenja između vanjskih površina objekta te atmosfere.

Nazivlje:

- C_{Cover} - faktor oblačnosti neba [-]
- E_{Dif} - difuzno zračenje na horizontalu [W/m^2]
- E_{Dir} - direktno zračenje na horizontalu [W/m^2]
- $E_{Glob,H}$ – ukupno zračenje na horizontalu [W/m^2]
- g – gravitacija [m^2/s]
- h – visina iznad razine mora [m]
- p_{atm} - atmosferski tlak [atm]
- p_0 - atmosferski tlak na visini h_0 [atm]
- ρ_0 – gustoća zraka na visini h_0 [kg/m^3]
- ε_0 – emisija vedrog neba [-]
- T_{amb} - vanjska temperatura [$^{\circ}\text{C}$]
- T_{Sat} - temperatura rosišta pri vanjskim uvjetima [$^{\circ}\text{C}$]
- T_{Sky} - temperatura neba [$^{\circ}\text{C}$]

2.3.3.1 Matematički model izračuna temperature neba

Fiktivna temperatura neba koristi se kod proračuna dugovalnog zračenja sa vanjskih površina prema atmosferi. U svrhu tog proračuna, nebo se uzima kao idealno crno tijelo. Potrebno je poznavati emisivnost vedrog i oblačnog neba. Stoga, fiktivna temperatura neba je funkcija:

- Vanjske temperature
- Vlažnosti zraka
- Stupnja oblačnosti neba
- Lokalnog atmosferskog tlaka

Ako meteorološki podaci ne uključuju stupanj oblačnosti, a u ovom slučaju ga ne uključuju, on mora biti izračunat i to po sljedećoj formuli:

$$C_{\text{Cover}} = (1.4286 \frac{E_{\text{Dif}}}{E_{\text{Glob,H}}} - 0.3)^{0.5} [-]$$

Za stupanj oblačnosti po noći, uzima se osrednjena popodnevna vrijednost. Atmosferski tlak određen je sljedećom formulom za neku određenu lokaciju:

$$p_{\text{atm}} = p_0 e^{\frac{g p_0 h}{p_0}} [\text{atm}]$$

Emisija vedrog neba iz temperature rosišta za zadane vanjske uvjete (temperature i vlažnosti zraka):

$$\varepsilon_0 = 0.711 + 0.005 T_{\text{Sat}} + 7.3 * 10^{-5} T_{\text{Sat}}^2 + 0.013 c o s \left[2\pi \frac{\text{vrijeme}}{24} \right] + 12 * 10^{-5} (p_{\text{atm}} - p_0) [-]$$

gdje se varijabla vrijeme odnosi na određeni sat u danu. Nakon svega ovoga može se izračunati fiktivna temperatura neba po sljedećoj jednadžbi:

$$T_{\text{Sky}} = T_{\text{amb}} [\varepsilon_0 + (1 - \varepsilon_0) C_{\text{Cover}} * 0.8]^{0.25} [^{\circ}\text{C}]$$

2.3.4 TYPE 56a: Višezonski objekt i TRNBuild

2.3.4.1 Općeniti opis, Type56a

Ovaj model opisuje toplinsko ponašanje objekta napravljenog jednozonski ili podijeljenog u više njih. Da bi se koristio ovaj modul prije toga se mora u posebnom programu napraviti model zgrade. To se radi u programu koji se zove TRNBuild. Taj program generira dvije datoteke koje će koristiti Type 56 modul pri simulaciji u TRNSYS-u. Datoteka koja sadrži detaljan opis objekta se može otvoriti sa bilo kojim programom za čitanje teksta, te u svezi s time, može se tako i napraviti, međutim zbog vrlo krute forme koju zahtijeva TRNSYS, preporuča se korištenje TRNBuild-a za generiranje zone. Dodatno se u još u TRNBuild-u zadaju izlazni parametri koje mora generirati modul Type 56. Prilikom modeliranja sustava za grijanje, hlađenje, ovlaživanje te odvlaživanje koristio se simplificiran i idealiziran model

kojem je dovoljno zadati željene temperature prostora i relativnu vlažnost uzimajući za pretpostavku da imamo beskonačno velik sustav koji može održavati konstantne zadane parametre.

2.3.4.2 Općeniti matematički opis, Type 56a

2.3.4.2.1 Toplinska zona

Ovim modulom određena je geometrijska ravnoteža modela sa jednim zračnim čvorom po zoni, uključujući i toplinski kapacitet zraka u zoni te sve kapacitete koji su usko povezani sa tom zonom (npr. namještaj).

2.3.4.2.2 Konvektivni toplinski tok u zoni

$$Q_i = Q_{surf,i} + Q_{inf,i} + Q_{vent} + Q_{g,c,i} \quad [W] \text{ gdje je}$$

$Q_{surf,i}$ = konvektivni prijelaz topline sa svih unutrašnjih površina

$$Q_{surf,i} = U_{w,i} * A_{w,i} * (T_{wall,i} - T_{air,i}) \quad [W]$$

$Q_{inf,i}$ = infiltracijski dobici (ulaz vanjskog zraka)

$$Q_{inf,i} = V * \rho * c_p * (T_{outside} - T_{air}) \quad [W]$$

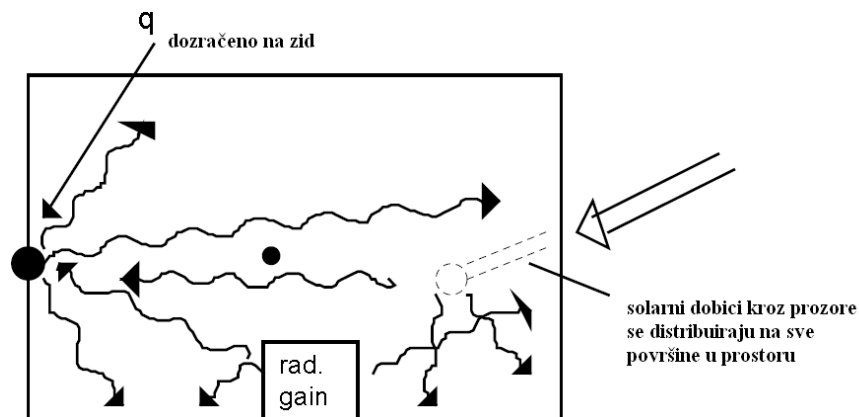
$Q_{vent,i}$ = ventilacijski dobici (dobici GViK sustava)

$$Q_{vent,i} = V * \rho * c_p * (T_{ventilation,i} - T_{air}) \quad [W]$$

$Q_{g,c,i}$ = unutarnji konvektivni dobici (ljudi, oprema, rasvijeta, itd.)

$$Q_{g,c,i} = [W]$$

2.3.4.2.3 Zračenje na zidove



Slika 2. Zračenje na zidove

$$Q_{r,w_i} = Q_{g,r,i,w_i} + Q_{sol,w_i} + Q_{long,w_i} \quad [W], \text{ gdje je}$$

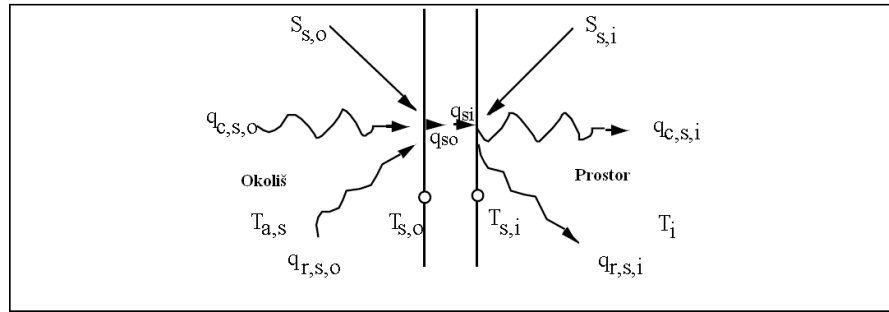
Q_{r,w_i} = ukupna dozračena energija na površine zidova unutar zone, [W]

Q_{q,r,w_i} = zračenje s unutarnjih izvora energije, [W]

Q_{sol,w_i} = sunčevo zračenje kroz prozore, [W]

Q_{long,w_i} = dugovalno zračenje između zidova unutar zone, [W]

2.3.4.2.4 Prolaz topline kroz zidove i prozore



Slika 3. Prolaz topline kroz zid

Slika 3. prikazuje toplinske tokove i temperature koji karakteriziraju toplinsko ponašanje bilo kojeg zida ili prozora. Nazivlje na toj slici slijedi:

$S_{s,i}$ = dozračeni toplinski tok na unutarnju površinu, [W]

$S_{s,o}$ = dozračeni toplinski tok od Sunca na vanjsku površinu, [W]

$q_{r,s,i}$ = izmijenjeni toplinski tok zračenjem sa svim ostalim površinama u zoni, [J/kg]

$q_{r,s,o}$ = izmijenjeni toplinski tok zračenjem vanjske površine sa vidljivim površinama, [J/kg]

$q_{s,i}$ = toplinski tok provođenja na unutarnjoj površini, [J/kg]

$q_{s,o}$ = toplinski tok provođenja na vanjskoj površini, [J/kg]

$q_{c,s,i}$ = toplinski tok predan unutarnjem zraku konvekcijom, [J/kg]

$q_{c,s,o}$ = toplinski tok predan konvekcijom vanjskoj površini, [J/kg]

$T_{s,i}$ = temperatura unutarnje površine, [°C]

$T_{s,o}$ = temperatura vanjske površine, [°C]

T_i = temperatura zone, [°C]

$T_{a,s}$ = vanjska temperatura, [°C]

Jednadžbe provođenja kroz zidove i prozore rješavaju se prijenosnim funkcijama Mitala i Arsenaulta. Za detaljno objašnjenje vidi „TRNSYS Priručnik: Type 56, Multizone, 2000“.

2.3.4.2.5 Dugovalno zračenje

Dugovalno zračenje unutar zone se javlja između zidova, te između zidova i svih ostalih površina u zoni kao što je već opisano u prethodnom poglavlju. Gledajući vanjsku površinu najznačajnije dugovalno zračenje se javlja između površine zida te neba. U tu svrhu koristi se fiktivna temperatura neba, T_{sky} , koja je ulazni podatak za ovaj modul, a njeno dobivanje je objašnjeno ranije. Ukupna izmijenjena toplina dobivena je zbrojem konvekcije i zračenja:

$$q_{comb,s,o} = q_{c,s,o} + q_{r,s,o} \text{ , [J/kg]}$$

gdje je:

$$q_{c,s,o} = h_{conv,s,o} * (T_{a,s} - T_{s,o}) \text{ , [J/kg]}$$

$$q_{r,s,o} = \sigma * \epsilon_{s,o} * (T_{s,o}^4 - T_{fsky}^4) \text{ , [J/kg]}$$

$$T_{fsky} = (1 - f_{sky}) * T_{a,s} + f_{sky} * T_{sky} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

gdje je:

$q_{comb,s,o}$ = ukupni izmijenjeni toplinski tok na površini (zračenje i konvekcija)

$q_{c,s,o}$ = konvektivni toplinski tok na površini

$q_{r,s,o}$ = toplinski tok zračenjem na površinu

$h_{conv,s,o}$ = koeficijent konvektivnog prijelaza topline na vanjskoj površini, [J/kg]

f_{sky} = dio neba koji "vidi" površina → 0.5 za vertikalne zidove bez zgrada u blizini, 1 za horizontalne zidove

T_{sky} = fiktivna temperatura neba, [°C]

$\epsilon_{s,o}$ = dugovalna emisivnost površine, [-]

σ = Stephan – Boltzmannova konstanta, [W/m²K⁴]

2.3.4.2.6 Infiltracija i ventilacija

Količina ventilacijskog i infiltracijskog zraka odnosi se na količinu izmijenjenog zraka na sat za svaku pojedinu zonu. Infiltracija je neželjen i nenamjeran ulaz vanjskog zraka u prostor, dok je ventilacija namjerno ubacivanje zraka željenih toplinskih svojstava. Pretpostavlja se da jednaka količina zraka koja uđe u prostor, taj isti prostor i napusti. Toplinski dobici uzrokovani ventilacijom i infiltracijom su sljedeći:

$$Q_{inf,i} = m_{inf,i} * C_p * (T_a - T_i) \text{ [W]}$$

$$Q_{v,i} = \sum_k^{n_{vent}} m_{v,k,i} * C_p * (T_{v,k} - T_i) \text{ [W]}$$

gdje je:

$m_{inf,i}$ = masa infiltracijskog zraka, [kg/s]

$m_{v,k,i}$ = masa ventilacijskog zraka, [kg/s]

C_p = specifični toplinski kapacitet zraka, [J/kgK]

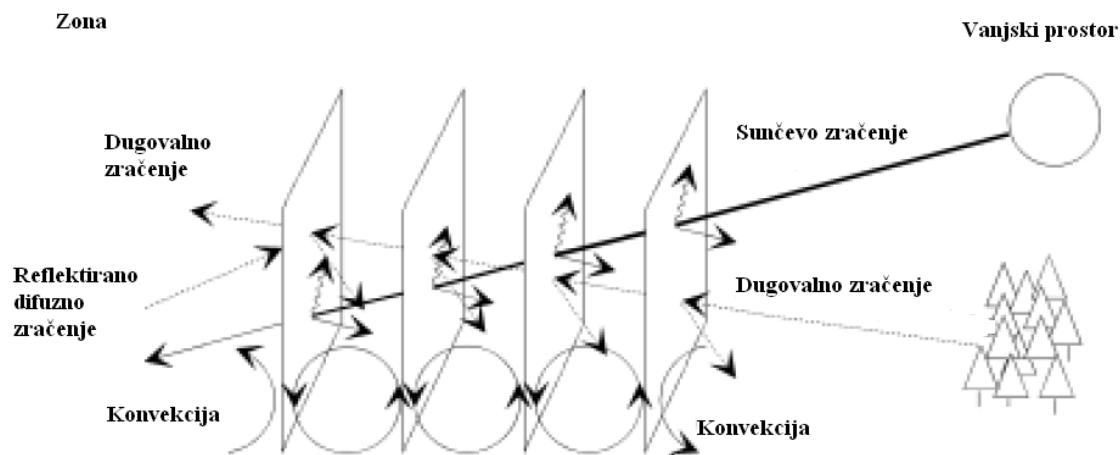
$T_{v,k}$ = temperatura infiltracijskog zraka [°C]

T_a = temperatura vanjskog zraka [°C]

2.3.4.2.7 Model prozora

Modul „Type 56“ kao za opis prozora koristi potprogram WINDOW 4.1 koji je razvijen u Lawrence Berkley Laboratory-iju, u SAD-u. Ovaj model izračunava propusnost, apsorpciju i refleksiju sunčevog zračenja za prozore sa do 6 stakala. U proračun su uračunata i zasjenjenja postavljena s vanjske odnosno unutarnje strane, te zasjenjenje unutar prozora, između dva stakla.

Prozor se može sastojati od 6 različitih stakala sa 5 različitih plinova između njih. Svako područje između stakala se zasebno računa. Kapacitet akumuliranja topline se ne uzima u obzir za stakla, zrak između stakla te za okvir prozora.



Slika 4. Detaljni model prozora

2.3.4.2.8 Bilanca vlage

Paralelno sa izračunom osjetne topline, ovaj modul može računati i bilancu vlage u ovisnosti zadanim parametrima za ovlaživanje, odnosno odvlaživanje. U ovom slučaju, Type 56 računa latentno opterećenje zone. Postoje dva modela izračuna latentnog opterećenja, a za ovaj rad je odabran jednostavniji model.

Prema tom modelu bilanca vlage na određenu zonu određena je sljedećom diferencijalnom jednačinom:

$$M_{\text{eff},i} \frac{d\omega_i}{dt} = m_{\text{inf},i} * (\omega_a - \omega_i) + \sum_k^{\text{nvent}} m_{v,k,i} * (\omega_{v,k,i} - \omega_i) + W_{g,i} \text{ [kg/s]}$$

gdje je:

ω_i = sadržaj vlage u prostoru, [kg/kg]

ω_a = sadržaj vlage u vanjskom zraku, [kg/kg]

$\omega_{v,k,i}$ = sadržaj vlage u ventilacijskom zraku, [kg/kg]

$W_{g,i}$ = unutarnji izvori vlage, [kg/s]

Iz te diferencijalne jednačine dobije se izraz po kojem se računa latentno opterećenje zone:

$$Q_{\text{lat},i} = h_v \left[m_{\text{inf},i} * (\omega_a - \omega_{\text{req},i}) + \sum_k^{\text{nvent}} m_{v,k,i} * (\omega_{v,k,i} - \omega_{\text{req},i}) + W_{g,i} - \frac{M_{\text{eff},i} * (\omega_{\text{req},i} - \omega_{i,\tau-\Delta t})}{\Delta t} \right] \text{ [W]}$$

gdje je:

$Q_{\text{lat},i}$ = latentna energija (+odvlaživanje, –ovlaživanje), [W]

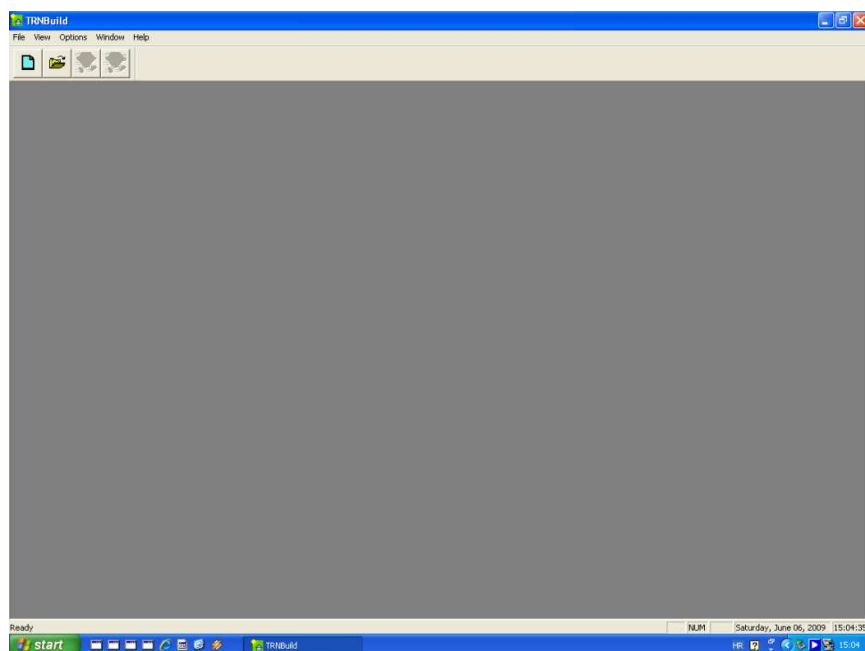
h_v = toplota isparavanja vode, [J/kg]

$\omega_{\text{req},i}$ = ciljana količina vlage u prostoru, [kg/kg]

2.3.4.3 TRNBuild – stvaranje modela objekta

TRNBuild je jedan od programa unutar TRNSYS paketa. Pomoću tog programa konstruiran je prostor koji će se promatrati. Specifičan je zbog toga što omogućuje da svaki dio prostora zasebno odredi, od konstrukcije zida pa do tepiha na podu. U narednom će se tekstu pokušati malo detaljnije objasniti postupak i način modeliranja objekta u TRNBuild-u.

Otvaranjem programa otvori se sljedeći prozor, Slika 5.



Slika 5. Otvaranje TRNBuild-a

Nakon što se otvori TRNBuild, odabire se ikona „New project“ te se u otvorenom prozoru zadaju sljedeći podaci: ime projekta, kratak opis, tko ga projektira, lokacija, te koje će biti relevantne strane svijeta prilikom projektiranja objekta, Slika 6.

No.	Orientation
1	NORTH
2	SOUTH
3	EAST
4	WEST
5	HORIZONTAL

NORTH
SOUTH
EAST
WEST
HORIZONTAL
NORTHEAST
NORTHWEST
SOUTHEAST
SOUTHWEST

Other

Properties Inputs Outputs

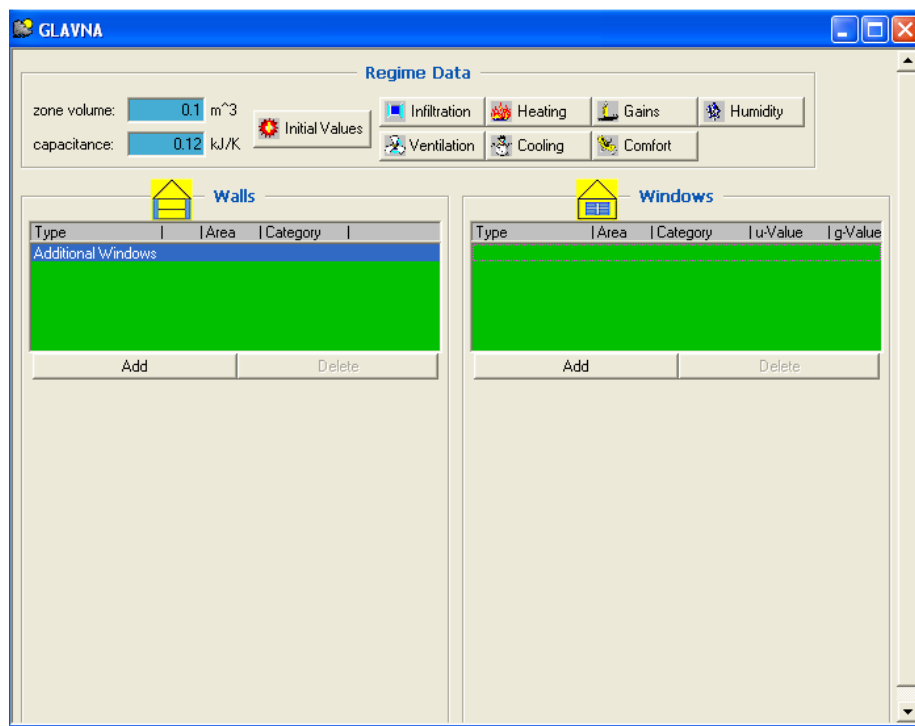
Slika 6. Opis novog projekta

Nakon što su upisani početni podaci i određene potrebne strane svijeta, koje se naravno po potrebi mogu kasnije i dodavati, pritišće se tipka „Properties“ ne bi li se odredili osnovni parametri i konstante potrebne prilikom projektiranja, Slika 7.

Kad je to napravljeno završen je prvi korak oblikovanja zadanog prostora te je sljedeći zadatak započeti s konstrukcijom zone. To se čini tako da se odabere opcija „Zones“ te dalje na „Add Zone“ ili jednostavnije pritiskom tipki „CTRL+F1“. U sljedećem prozoru se upisuje ime zone. Kako se za ovaj zadatak promatra samo jedna zona, nazvat ćemo je „GLAVNA“. Zbog ograničenja programskog jezika FORTRAN, zona ne može imati ime sastavljeno od dvije riječi, osim ako te riječi nisu povezane sa donjom crtom (_). Sada se otvorio prozor u kojem počinjemo sa konstruiranjem zone, Slika 8.

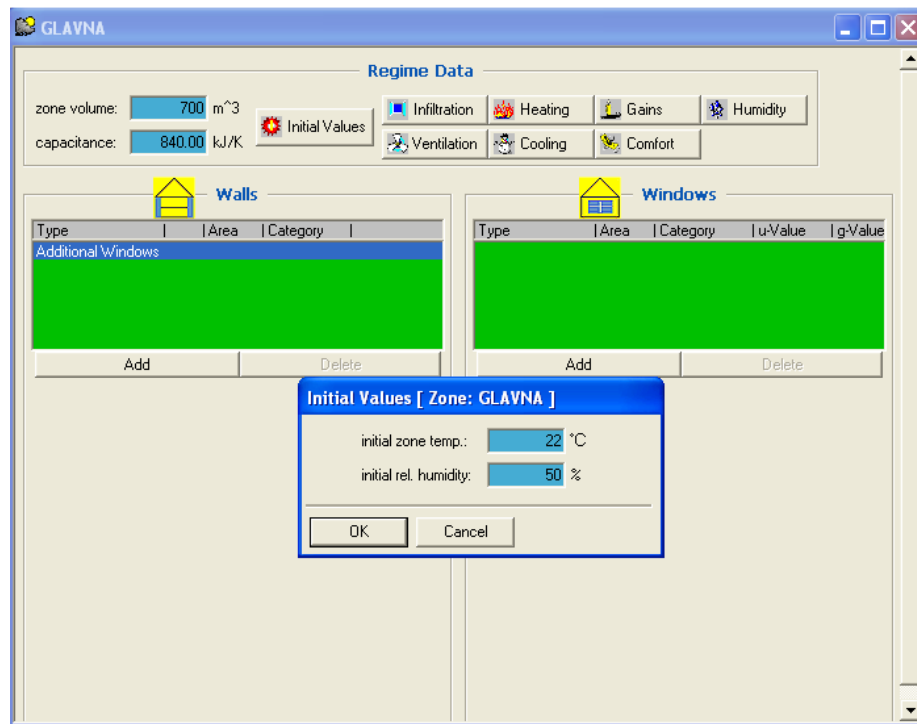
Properties	
density of air :	1.204 kg / m ³
specific heat of air:	1.012 kJ / kg K
heat of vaporization of water:	2454 kJ / kg
Stefan Boltzmann Constant:	2.041e-007 kJ / h m ² K ⁴
approx. average surface temp.:	293.15 K
Parameters for internal calculation of heat transfer coefficients	
constant heated floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) > 0	7.2 kJ / m ² K
exponent heated floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) > 0	0.31 -
constant cooled floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) < 0	3.888 kJ / m ² K
exponent cooled floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) < 0	0.31 -
constant cooled ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) < 0	3.888 kJ / m ² K
exponent cooled ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) < 0	0.31 -
constant heated ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) > 0	7.2 kJ / m ² K
exponent heated ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) > 0	0.31 -
constant vertical surface:	5.76 kJ / m ² K
exponent vertical surface	0.3 -
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Slika 7. Određivanje osnovnih konstanti



Slika 8. Nova zona

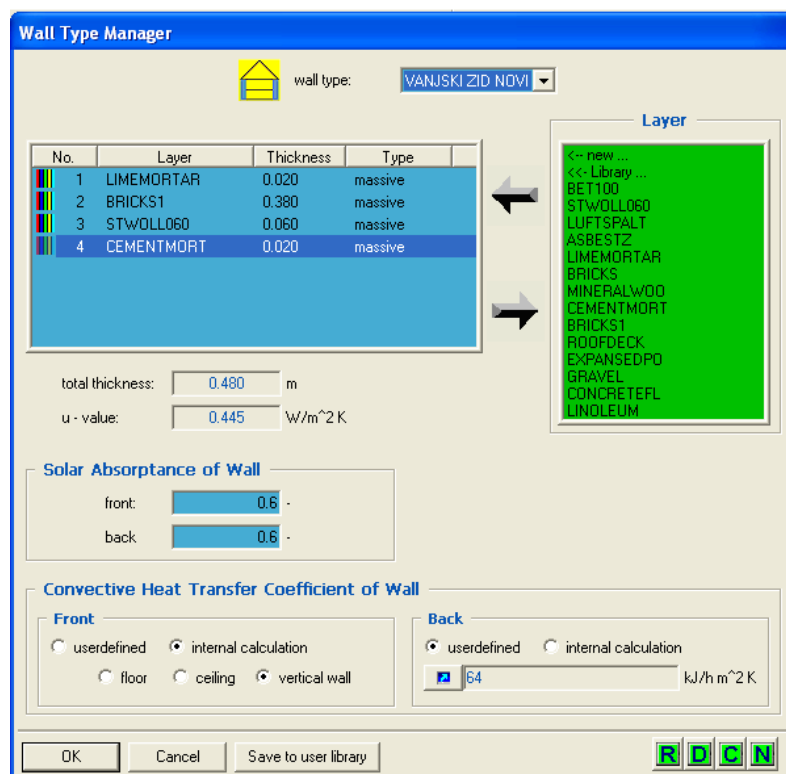
Nakon što se otvorio prozor za novu zonu počinje se sa unosom podataka. Unos podataka mora slijediti neki određeni redoslijed. Prvo što se unosi jest volumen zone u m³ (u promatranom slučaju to je 700 m³). Kapacitet akumuliranja topline zraka ili bilo koje druge mase (npr. namještaja) u zoni, osim zida, automatski se ispunjava i to po jednadžbi: $KAPACITET = 1.2 * VOLUMEN$. Prije početka određivanja zidova potrebni je još unijeti početne vrijednosti zone, tj. temperaturu i vlažnost zraka, Slika 9 (u ovom slučaju 22°C i 50 % vlažnosti zraka).



Slika 9. Prvi korak projektiranja

Nakon što su uneseni početni podaci vrijeme je da se odrede zidovi u zadanoj zoni. Pritiskom na tipku „Add Walls“ otvara se novi prozor gdje se odabire hoće li se zid projektirati, ili odabrati iz baze podataka, ili će se pak odabrati zid sa toplinskim mostom. TRNBuild ima tri osnovne baze podataka za zidove. Prva je osnovna koja sadrži neke općenite tipove zidova, druga je njemačka baza podataka koja sadrži najčešće primjere zidova napravljene po VDI 2078, dok je treća američka baza podataka sa najčešćim tipovima zidova napravljenim po ASHRAE Standardu. U ovom radu se neće koristiti već predefinirani zidovi već će biti konstruirani. I ovdje postoje baze podataka za određene standardne materijale gradnje te su definirane njihove U- vrijednosti.

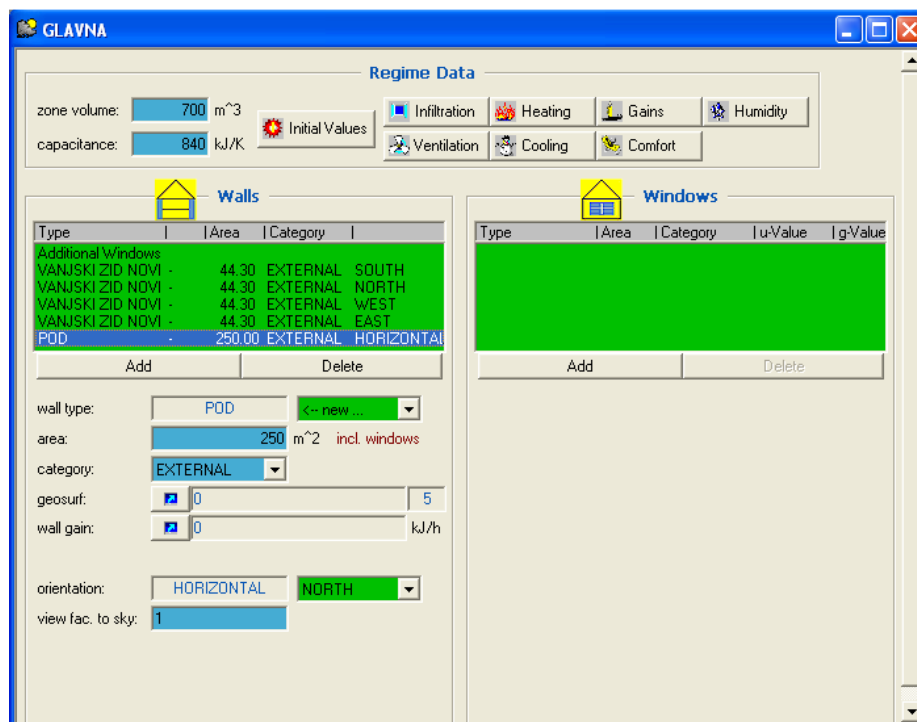
Nakon odabiranja „Add Walls“, odabire se „New“ te se otvara novi prozor u kojem se imenuje zid (npr. vanjski zid-istočni). U desnom prozorčiću postoje dvije opcije, da li će se koristiti baza podataka za građevne dijelove zida, ili će oni biti sami projektirani. S obzirom na to da su građevni elementi danas već dovoljno standardizirani, građevni elementi biti će uzeti iz baze podataka, Slika 10.



Slika 10. Modeliranje zidova

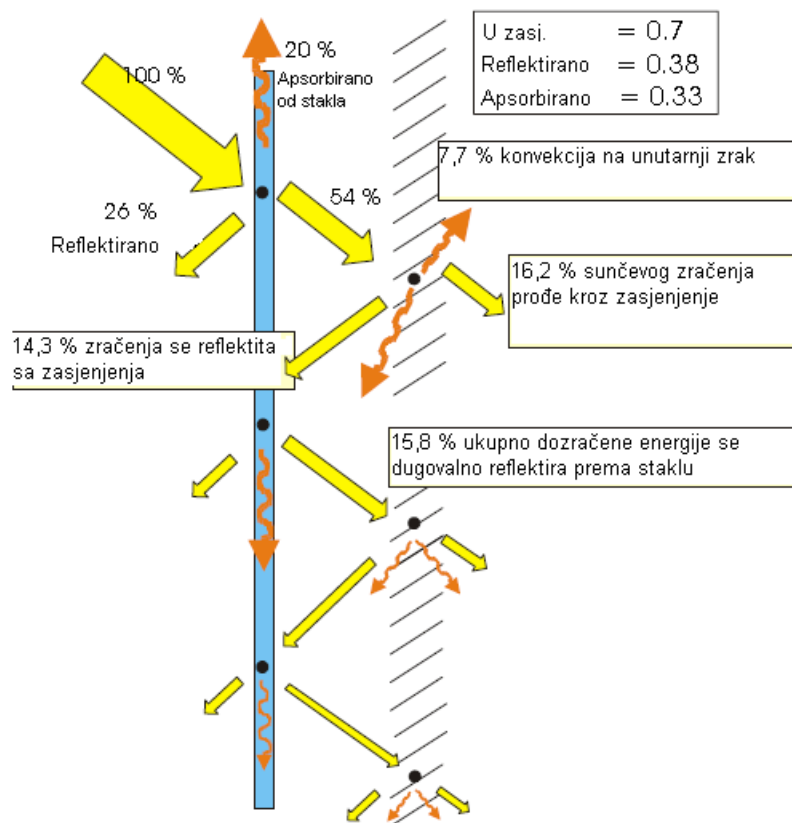
Redoslijed dodavanja dijelova zida nije proizvoljan, smjer dodavanja određen je iznutra prema van. Za ovaj konkretan zid, napravljen po pravilniku iz 2008. godine, koriste se sljedeći dijelovi: unutarnja žbuka (0.02 m), cigla (0.38 m), kamena vuna (0.06 m), te vanjska žbuka (0.02 m). To rezultira debljinom zida od 0.48 m, te ukupnim koeficijentom prolaza topline (U) od 0.445 W/m²K. Koeficijent apsorpcije zračenja je postavljen univerzalno za vanjsku i unutarnju površinu na 0.6. Koeficijent prijelaza topline na unutarnjim površinama se računa, po modelu okomitog zida, dok se vanjski pretpostavlja konstantnim. Njegova vrijednost je 17.7 W/m²K. Ovaj koeficijent se ne računa jer bi izračun na vanjskoj strani zida gdje je dominantan utjecaj atmosferilija, pogotovo vjetra, bio izrazito složen.

Kada je zid napravljen ostaje samo da se u glavnom izborniku unesu podaci o njegovoj površini, kategoriji (vanjski, unutarnji, zid između 2 zone, te granični), geografskoj orijentaciji, te dijelu neba koji ta površina „vidi“ (0.5 za okomiti zid, 1 za horizontalni zid), Slika 11.



Slika 11. Zidovi

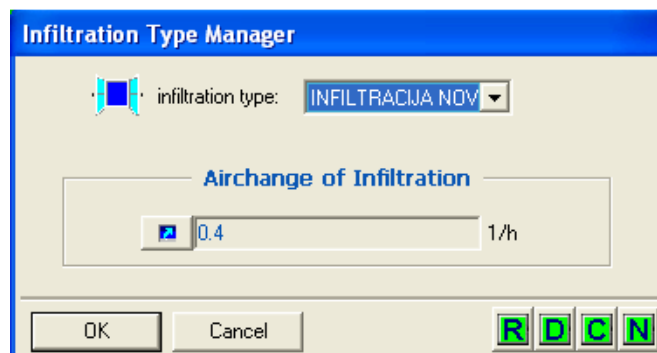
Nakon što su konstruirani svi zidovi mora se još svakom zidu ili samo određenim zidovima dodati prozore. To se čini tako da se pod opcijom „Windows“ odabere „Add“. Kao i za zidove, i ovdje postoji baza podataka za gotovo sve standardne prozore danas u upotrebi. Ovu bazu podataka su napravili u „TRANSSOLAR Energietechnik GmbH“, a zbog same složenosti projektiranja novog prozora u ovom će se radu koristiti već postojeća baza podataka. Nakon što se odabere tip prozora, te ga po potrebi preimenuje (npr. Vanjski prozor jug), unosi se njegova površina te faktor vidljivosti neba. Kao dodatna opcija kod prozora postoji zasjenjenje. Ono može biti vanjsko ili unutarnje, može biti konstantno ili se može mijenjati po nekom rasporedu.



Slika 12. Princip rada zasjenjenja

Kad su određeni zidovi i prozori moraju se još odrediti i ostali podaci relevantni za tu zonu: infiltraciju, ventilaciju, grijanje, hlađenje, unutarnje toplinske dobitke te relativnu vlažnost.

Infiltracija je neželjen upad vanjskog zraka u toplinsku zonu, te je određen brojem izmjena zraka unutar jednog sata, Slika 13.



Slika 13. Infiltracija

U ovom radu konstruirana su tri različita objekta i svaki ima različit stupanj infiltracije zraka. Za najstariju zgradu pretpostavljen je najveći stupanj infiltracije zbog loše kvalitete prozora. Kod zgrade napravljene između 1986. i 2008. godine pretpostavljen je manji

stupanj infiltracije zbog bolje kvalitete prozora, dok je kod najnovije zgrade infiltracija svedena na zakonski minimum, kao što je prikazano u sljedećoj tablici.

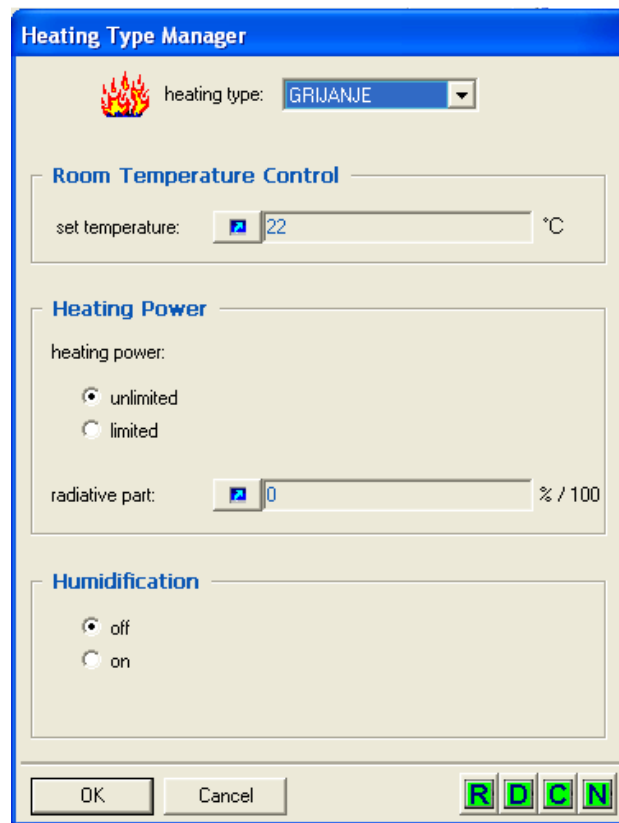
Tablica 1. Infiltracija

Objekt	Infiltracija [h^{-1}]
Zgrada sagrađena prije 1986. godine	0,8
Zgrada sagrađena između 1986. i 2008. godine	0,6
Zgrada sagrađena nakon 2008. godine	0,5

Ukoliko se za održavanje temperature i vlažnosti zraka u prostoru koristi neki GViK sustav potrebno je odrediti parametre ventilacije, tj. ventilacijskog zraka. Potrebno je odrediti je li taj zrak ima temperaturu vanjskog zraka ili je prethodno kondicioniran, te koja mu je vlažnost (vlažnost vanjskog zraka ili je prošao proces ovlaživanja/odvlaživanja), te koliko se tog zraka ubacuje u prostor (u izmjenama volumena po satu), Slika 14. U ovom radu neće biti korištena prisilna ventilacija.

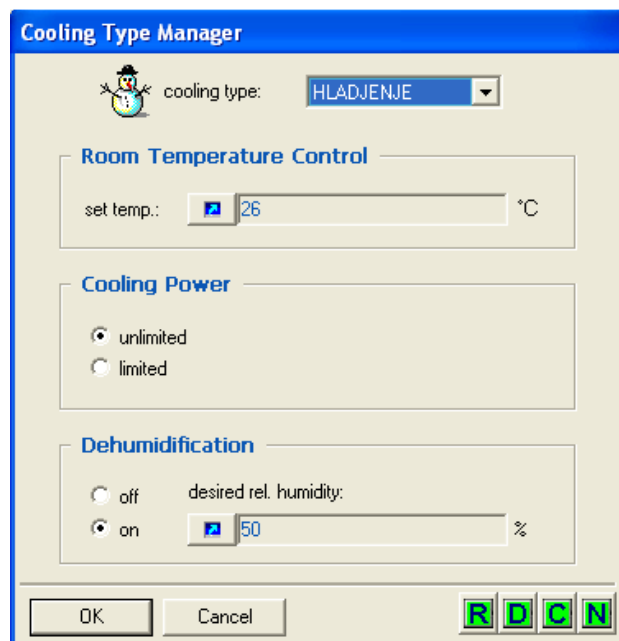
Slika 14. Ventilacija

Ukoliko u nekom prostoru želi održavati zadovoljavajuća temperatura tijekom zimskog razdoblja potrebno je prostor grijati pomoću nekog sustava grijanja, Slika 15.



Slika 15. Grijanje

S obzirom da je ovo idealizirani sustav grijanja, u njega unosimo samo neke osnovne podatke bitne za energetske analizu. Moramo mu unijeti temperaturu ispod koje ne smije pasti (u navedenom slučaju 22 °C), koja mu je snaga (u ovom slučaju, beskonačno velik sustav), te koliki je postotak zračenja, a koliki konvekcije grijaćeg tijela. U ovom radu se neće ovlaživati prostor zimi.



Slika 16. Hlađenje

Sve što je rečeno za grijanje zimi, vrijedi i za hlađenje ljeti. Unosi se maksimalna temperatura (26 °C) koja se smije pojaviti u zoni, uz pretpostavku beskonačno velikog kapaciteta sustava za hlađenje. U zoni je uzet u obzir postupak odvlaživanja, stoga je potrebno zadati vrijednost relativne vlažnosti koji je potrebno održavati, te udio latentne topline vezane za taj proces.

Za kraj se još moraju dodati unutarnji toplinski dobici, ili barem oni za koje se pretpostavlja da će biti u zoni, Slika 17. U ovom slučaju zona će sadržavati 4 čovjeka koji sjede ili lagano rade, računalo koje radi od 12 do 18 sati te odaje 230 W toplinske energije, te rasvjetu snage 5 W/m², koja radi od 18 do 23 sata.

S ovim je zona u potpunosti definirana. Ukoliko se radi višezonski sustav, ista se ova procedura provodi za svaku sljedeću zonu. Ovdje se javlja samo jedan problem, a to je da zbog ograničenja programa „Windows XP“ maksimalan broj zona za jedan sustav može biti 19. Zasada nisu poznati podaci da li je taj problem riješen upotrebom „Windows Viste“ ili „Windows 7“.

Gains [Zone: GLAVNA]

Persons

☐ off
☒ on

☒ ISO 7730 Table degree of activity
☐ VDI 2078 Table Seated, light work, typing

scale: 4

Computer

☐ off
☒ on

computer type: 230 W PC with colour mon
 scale: S: 1*RACUNALO

Artificial Lighting

☐ off
☒ on

related floor area: 1 m²

total heat gain: 5 W/m²
 control strategy: S: 1*RASVIJETA

convective part: 10 % incandescent lamp
 scale: 1

Other Gains

Type	Scale	Geo Position

Add Delete

OK Cancel

Slika 17. Unutarnji dobici topline

3. Rezultati

3.1. Objekti

Zadatak je bio odrediti toplinsko i rashladno opterećenje objekta kroz cijelu godinu za dva najveća hrvatska grada, Zagreb i Split sa ciljem izračuna godišnje potrošnje energije. Najveći broj danas postojećih građevina napravljen je poslije Drugog Svjetskog rata, te se stoga mogu podijeliti na tri glavna razdoblja gradnje. Ta razdoblja se razlikuju po građevinskim propisima koji postojali u vrijeme građenja objekta. U ovom radu će biti promatrani sljedeći slučajevi:

1. Objekti sagrađeni prije 1986. godine
2. Objekti sagrađeni između 1986. i 2008. godine
3. Objekti sagrađeni nakon 2008. godine

Prije nego što se krene u daljnju raspravu potrebno je definirati opće parametre i zahtjeve prostora. Objekt koji će biti promatran ima kvadratni tlocrt dimenzija 15,81x15,81x2,8 m, uz ukupnu površinu od 250 m², te volumen zraka u prostoru od 700 m³. Prilikom promatranja energije potrebne za hlađenje kao konstrukcijski parametar se javlja faktor udjela ploštine prozora u ukupnoj ploštini pročelja, f (-), te u promatranim slučajevima on iznosi 0,65 (NN 110/08). Kako bi se zadovoljila toplinska ugodnost u prostoru, određena je minimalna i maksimalna temperatura zraka u prostoru. Minimalna temperatura u prostoru je postavljena na 22 °C, dok je maksimalna postavljena na 26 °C, uz relativnu vlažnost zraka koja ne prelazi 50 %. Infiltracija zraka kao što je već ranije navedeno ovisi o tipu zgrade te je prikazana u Tablici 1.

3.1.1. Objekti sagrađeni prije 1986. godine

U narednoj tablici dani su osnovni građevinski detalji objekta, izgrađenog prije 1986. godine, uključujući vrijednosti koeficijenta prolaza topline:

Tablica 2. Građevinski podaci o objektu sagrađenom prije 1986. godine

Konstruktivski element	Orijentacija	„U“-vrijednost [W/m²K]	Površina [m²]	Struktura
Vanjski zid	Jug	1.41	44.3	Unutarnja žbuka 2cm, šuplja blok opeka 25 cm, fasada 2 cm
	Sjever	1.41	44.3	
	Zapad	1.41	44.3	
	Istok	1.41	44.3	
Ravni krov	Horizontalna	1.404	250	Unutarnja žbuka 2cm, drvene grede 7.5cm, betonska ploča 16cm, šljunak 10cm
Pod	-	1.372	250	Linoleum 0.2cm, mineralna vuna 2cm, betonska ploča 25 cm
Prozori	Jug	5.68	28.48	Najstariji tip prozora, drveni okvir
	Sjever	5.68	14.24	
	Zapad	5.68	28.48	
	Istok	5.68	14.24	

3.1.2. Objekti sagrađeni između 1986. i 2008. godine

U narednoj tablici dani su osnovni građevinski podaci objekta, izgrađenog između 1986. i 2008. godine:

Tablica 3. Građevinski podaci o objektu sagrađenom između 1986. i 2008. godine

Konstruktivski element	Orijentacija	„U“-vrijednost [W/m²K]	Površina [m²]	Struktura
Vanjski zid	Jug	0.939	44.3	Unutarnja žbuka 2cm, šuplja blok opeka 36 cm, mineralna vuna 3cm, fasada 2cm
	Sjever	0.939	44.3	
	Zapad	0.939	44.3	
	Istok	0.939	44.3	
Ravni krov	Horizontalna	0.729	250	Unutarnja žbuka 2cm, betonska ploča 22 cm, izolacijski materijal 3cm, šljunak 10cm
Pod	-	0.900	250	Linoleum 0.2cm, mineralna vuna 4cm, betonska ploča 22cm
Prozori	Jug	2.83	28.48	Noviji prozor, duplo staklo
	Sjever	2.83	14.24	
	Zapad	2.83	28.48	
	Istok	2.83	14.24	

3.1.3. Objekti sagrađeni nakon 2008. godine

U narednoj tablici dani su osnovni građevinski podaci objekta, sagrađenog nakon 2008. godine:

Tablica 4. Građevinski podaci o objektu sagrađenom nakon 2008. godine

Konstruktivski element	Orijentacija	„U“-vrijednost [W/m²K]	Površina [m²]	Struktura
Vanjski zid	Jug	0.394	44.3	Unutarnja žbuka 2cm, šuplja blok opeka 30 cm, kamena vuna 8cm, fasada 2cm
	Sjever	0.394	44.3	
	Zapad	0.394	44.3	
	Istok	0.394	44.3	
Ravni krov	Horizontalna	0.302	250	Unutarnja žbuka 2cm, ekspandirani polieseter 6 cm, betonska ploča 22 cm, šljunak 10cm
Pod	-	0.433	250	Linoleum 0.2cm, mineralna vuna 8cm, betonska ploča 22cm
Prozori	Jug	1.4	28.48	Alu-plastika, dvostruko staklo, punjeno argonom
	Sjever	1.4	14.24	
	Zapad	1.4	28.48	
	Istok	1.4	14.24	

3.2. Promatrani slučajevi

Prilikom proračuna potrošnje energije za grijanje i hlađenje u obzir su uzete dvije lokacije, tri različita objekta, te četiri slučaja zasjenjenja na svakom objektu. Četiri slučaja zasjenjenja uzeta su u obzir po objektu iz razloga što prilikom promatranja energije potrebne za hlađenje ljeti, sunčevo zračenje kroz prozore objekta ima značajan utjecaj. Promatrane opcije zasjenjenja:

1. Bez zasjenjenja
2. Samo vanjsko zasjenjenje
3. Samo unutarnje zasjenjenje
4. Oba (vanjsko i unutarnje) zasjenjenje

Radi lakšeg snalaženja u narednom tekstu slijedi kratko objašnjenje zasjenjenja. Kao tipičan primjer vanjskog zasjenjenja uzete su aluminijske žaluzine, blago pritvorene uz koeficijent propuštanja po VDI 2078 od 0,85. Kod pojačanog zasjenjenja u najnovijem tipu objekta, odabrani koeficijent propuštanja iznosi 0,5. Za unutarnji tip zasjenjenja odabrane su pamučne zavjese sa koeficijentom propuštanja 0,5. Zasjenjenje se unosi i određuje prilikom konstruiranja objekta, te ono može biti postavljeno kao konstantno ili se može mijenjati po nekom rasporedu.

Tablica 5. Ovisnost koeficijenta propuštanja o kutu zakreta žaluzina

Koeficijent propuštanja	Kut zakreta žaluzina u odnosu na horizontalu	Komentar
0,85	20 – 25°	Dovoljna količina svjetlosti ulazi u prostor
0,5	30 – 35°	Smanjen ulaz danjeg svjetla u prostor
0,15	45°	Vrlo slab ili nikakav ulaz danjeg svjetla u prostor

Sukladno rečenom proračunom su obuhvaćena 24 različita slučaja koji su zorno prikazani u idućoj tablici:

Tablica 6. Istraživani slučajevi

Objekt/Lokacija	Br. slučaja	Zagreb	Br. slučaja	Split
Kuća sagrađena prije 1986. godine	1.	Bez zasjenjenja	13.	Bez zasjenjenja
	2.	Vanjsko zasjenjenje	14.	Vanjsko zasjenjenje
	3.	Unutarnje zasjenjenje	15.	Unutarnje zasjenjenje
	4.	Oba zasjenjenja	16.	Oba zasjenjenja
Kuća sagrađena između 1986. i 2008. godine	5.	Bez zasjenjenja	17.	Bez zasjenjenja
	6.	Vanjsko zasjenjenje	18.	Vanjsko zasjenjenje
	7.	Unutarnje zasjenjenje	19.	Unutarnje zasjenjenje
	8.	Oba zasjenjenja	20.	Oba zasjenjenja
Kuća sagrađena nakon 2008. godine	9.	Bez zasjenjenja	21.	Bez zasjenjenja
	10.	Vanjsko zasjenjenje	22.	Vanjsko zasjenjenje
	11.	Unutarnje zasjenjenje	23.	Unutarnje zasjenjenje
	12.	Oba zasjenjenja	24.	Oba zasjenjenja

3.3. Ukupno rashladno i toplinsko opterećenje

U ovome poglavlju tablično je prikazana izračunata energija potrebna za grijanje i hlađenje za područje Zagreba i Splita. Energija potrebna za grijanje prostora biti uspoređena je sa najnovijom zakonskom regulativom opisanom u NN 110/2008.

Tablica 7. Energija potrebna za grijanje i hlađenje za sve ispitane slučajeve

Br. slučaja	Energija potrebna za hlađenje [kWh/m ² god]	Energija potrebna za grijanje [kWh/m ² god]	Zakonska regulativa za grijanje [kWh/m ² god]
1.	29,00	418,64	90,76
2.	25,12	418,64	90,76
3.	26,91	418,64	90,76
4.	23,77	418,64	90,76
5.	23,83	183,50	90,76
6.	19,64	183,50	90,76
7.	23,46	183,50	90,76
8.	19,45	183,50	90,76
9.	37,61	84,55	90,76
10.	30,02	84,55	90,76
11.	35,96	84,55	90,76
12.	28,87	84,55	90,76
13.	67,53	215,01	90,76
14.	57,83	215,01	90,76
15.	59,25	215,01	90,76
16.	51,38	215,01	90,76
17.	54,02	78,46	90,76
18.	44,52	78,46	90,76
19.	50,42	78,46	90,76
20.	41,79	78,46	90,76
21.	67,22	29,50	90,76
22.	54,40	29,50	90,76
23.	63,81	29,50	90,76
24.	51,75	29,50	90,76

Kao što je vidljivo u gore navedenoj tablici za slučaj grijanja nisu ispitivana sva 24 slučaja, već samo njih 6. Razlog tome je što zasjenjenje vrlo malo utječe na energiju potrebnu za grijanje, te se ono proračunava za najgori mogući slučaj. Osvrnemo li se na rezultate dobivene za grijanje moguće je uočiti da se dodavanjem izolacije na zidove energija potrebna za grijanje prostora značajno smanjuje. Tako se može vidjeti da se postavljanjem dobre izolacije u Zagrebu na grijanju može uštediti i do pet puta, a u Splitu čak do sedam puta. Ukupna ušteda energije za grijanje je u Zagrebu znatno veća iako je postotak uštede manji jer je u Zagrebu znatno veća potreba za grijanjem nego u Splitu (84,55 kWh/m²god nasuprot 29,50 kWh/m²god). Kod hlađenja je situacija nešto drugačija. Izolacija zidova ima određeni utjecaj na utrošenu energiju, ali ne i presudan. Zbog dominantnog utjecaja sunčeve energije

najveći utjecaj na potrošnju energije za hlađenje ima zasjenjenje prozora. Ako se za primjer uzme srednje izoliran objekt u Zagrebu, razlika između slučaja bez zasjenjenja te sa oba zasjenjenja jest 4,38 kWh/m²god, što nije zanemariva vrijednost. Iako je za očekivati da se najmanje energije za hlađenje troši u objektu sa najboljom izolacijom, to nije slučaj. Kao što je već opisano sunčeva energija predstavlja dominantne toplinske dobitke prostora, dozračivanjem kroz prozore zagrijavaju se zidovi koji potom griju zrak u prostoru. Kod zgrada bez ili sa slabom izolacijom ti se zidovi hlade kada je niža vanjska temperatura, najčešće po noći. Međutim kod dobro izoliranih zidova to hlađenje teče znatno sporije. Solarna energija zračenjem kroz prozore ulazi u prostor, ali samo jedan manji dio te energije napušta prostor provođenjem kroz zidove, ostatak mora odvesti rashladni sustav. Ovaj se problem može riješiti boljim vanjskim zasjenjenjem te selektivnim zasjenjenjem prostora u ovisnosti o dobu dana. Time se dobiju prihvatljivi rezultati na nivou najboljih prikazanih u Tablici 6. Detaljan opis ovog slučaja opisan je u daljnjim poglavljima.

3.4. Objekt sagrađen prije 1986. godine, smješten u Zagrebu

Prikaz rezultata za ovaj tip zgrade biti će dan za tipičan primjer takvog objekta, zidovi bez izolacije, podovi sa vrlo malom izolacijom te dvostruki drveni prozori koji kao zasjenjenje koriste samo svijetle platnene zavjese.

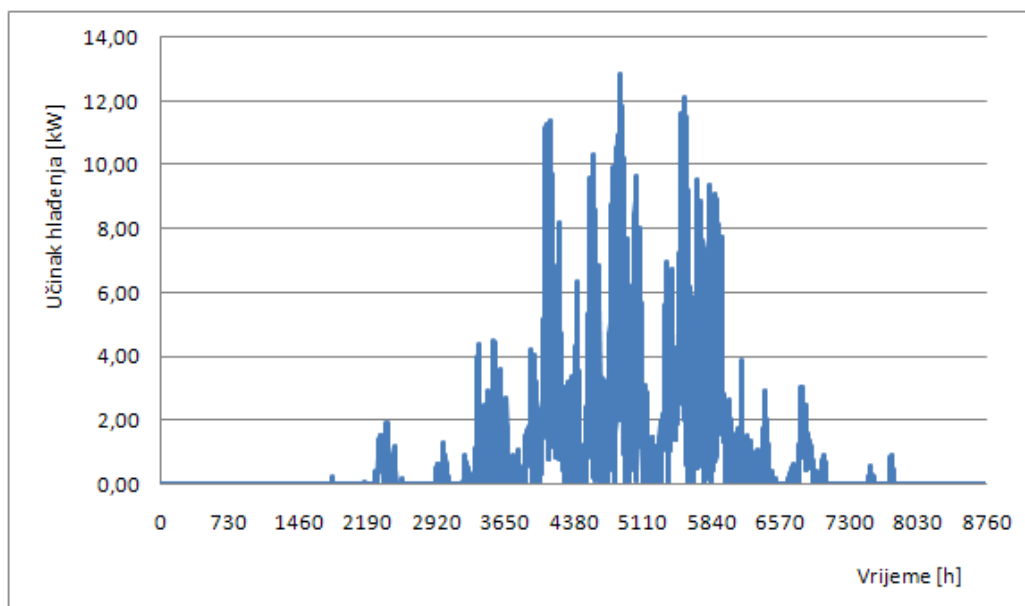
Tablica 8. Mjesečni prikaz energije potrebne za hlađenje i grijanje za slučaj 3

Mjesec	Hlađenje (osjetna toplina)	Hlađenje (latentna toplina)	Grijanje
	kWh	kWh	kWh
Siječanj	0,00	0,00	21849,42
Veljača	0,00	0,00	16410,63
Ožujak	0,03	1,03	13054,49
Travanj	7,08	122,07	6484,91
Svibanj	148,42	204,93	2275,43
Lipanj	703,74	524,73	724,04
Srpanj	1456,33	707,62	60,59
Kolovoz	1069,18	750,92	263,49
Rujan	265,53	500,65	2170,63
Listopad	0,00	237,80	8493,20
Studen	0,00	28,15	15167,86
Prosinac	0,00	0,00	21279,16
	3650,30	3079,9	
Σ		6726,20	108233,80

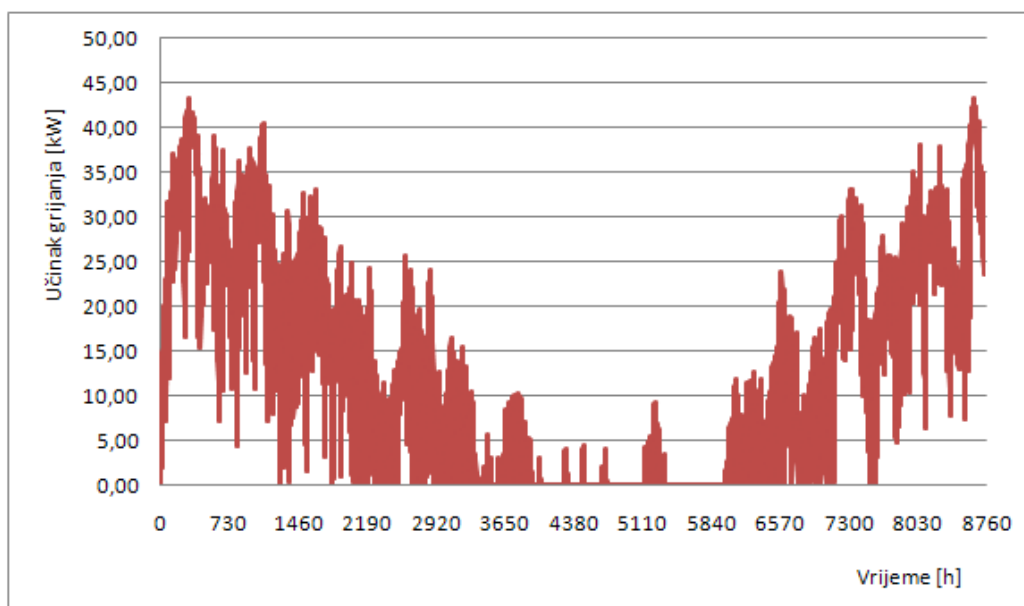
Kao što se može primijetiti iz gore navedene tablice energija potrebna za hlađenje prostora iznosi 6726 kWh godišnje, što se 26,91 kWh/m²god, dok je energija potrebna za grijanje istog prostora višestruko veća te iznosi 108233 kWh godišnje. Specifičnost ovog slučaja je da ukoliko se žele zadovoljiti strogi kriteriji toplinske ugodnosti sustav za grijanje mora raditi i u ljetnim mjesecima, što inače nije slučaj. To se događa iz razloga što u ovom slučaju postoji visok stupanj infiltracije vanjskog

zraka (Tablica 1.), te se uz lošu izolaciju zidova u noćnim satima prostor hladi ispod zadane temperature (22 °C) te ga je potrebno dogrijavati. Dodatna anomalija se javlja zbog kriterija na relativnu vlažnost zraka u prostoru (50%), te stoga rashladni sustav mora raditi u netipičnim mjesecima (ožujak, listopad, studeni) kako bi udovoljio tom kriteriju.

Na Slikama 18. i 19. prikazana je satna raspodjela energije potrebne za grijanje i hlađenje tokom cijele godine.

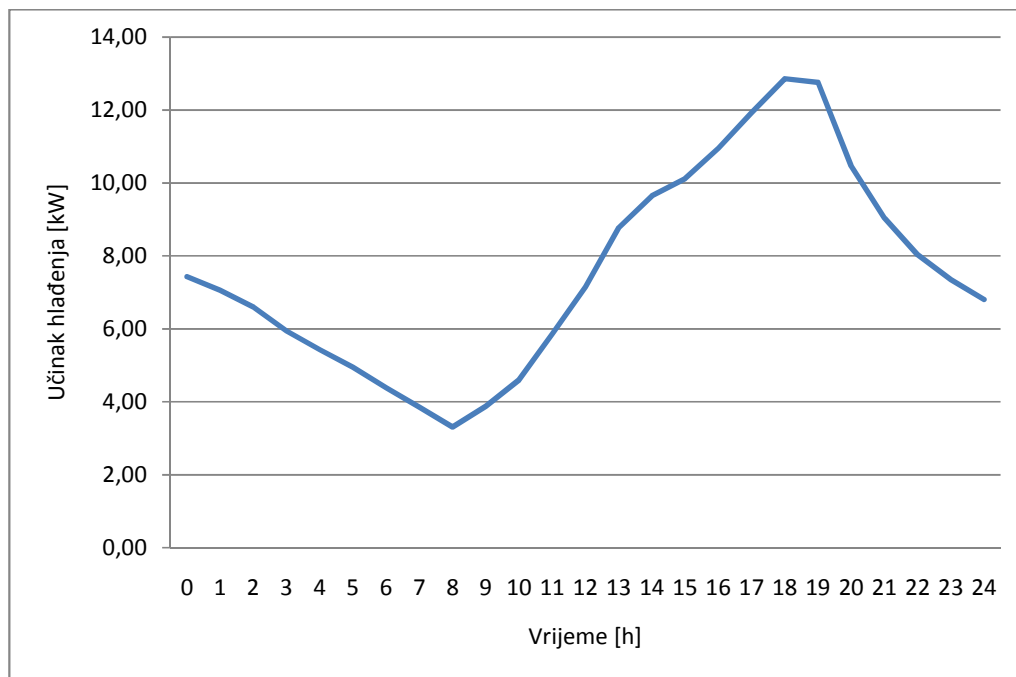


Slika 18. Satna raspodjela energije za hlađenje, slučaj 3

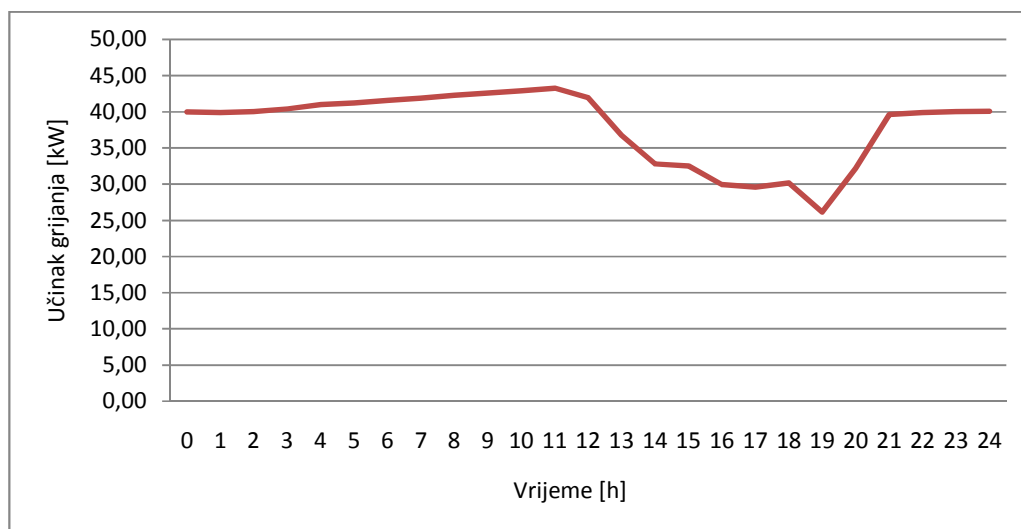


Slika 19. Satna raspodjela energije za grijanje, slučaj 3

Oba prikazana dijagrama imaju veliku važnost prilikom projektiranja sustava za grijanje i/ili hlađenje. U njima je dano toplinsko odnosno rashladno opterećenje po satima. Integriranjem tih dvaju dijagrama dobiva se godišnja potreba energije za hlađenje i grijanje. Za dimenzioniranje sustava koristi se dijagram satnog opterećenja za kritičan dan kada se javlja najveće opterećenje kako za hlađenje tako i za grijanje. U ovom slučaju za hlađenje to je 10. kolovoz, a za grijanje 12. siječanj.



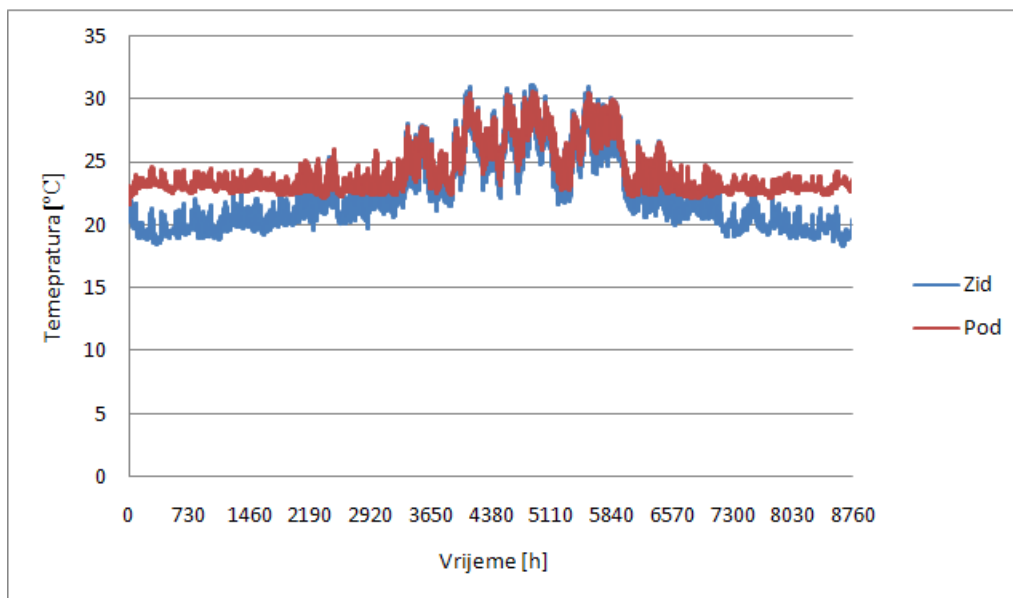
Slika 20. Satno opterećenje za hlađenje, 10. kolovoz



Slika 21. Satno opterećenje za grijanje, 12. siječanj

Iz gore prikazanih dijagrama može se očitati maksimalno rashladno i toplinsko opterećenje. Ono vrijedi samo za jedan sat u kritičnom danu, za sve je ostale druge sate manje te se projektantu ostavlja na izbor hoće li sustav projektirati za upravo to opterećenje. Time su zadovoljeni svi uvjeti toplinske ugodnosti, ali je za većinu potrebe sustav predimenzioniran. Maksimalno rashladno opterećenje iznosi 12,86 kW, a toplinsko 43,23 kW.

U sljedećem dijagramu, Slika. 22., prikazane su temperature karakterističnih površina u prostoru, zida i poda, za slučaj 3. Ovaj parametar izrazito je bitan prilikom zadovoljavanja uvjeta toplinske ugodnosti. Čovjek zračenjem izmjenjuje toplinu sa zidovima, te ukoliko je temperatura zidova previsoka ili preniska izazivati će osjećaj neugode kod osoba, prema I. Balen: Podloge za predavanja iz kolegija „Klimatizacija“. Postoji potreba da temperature zidova budu što bliže temperaturi zraka.

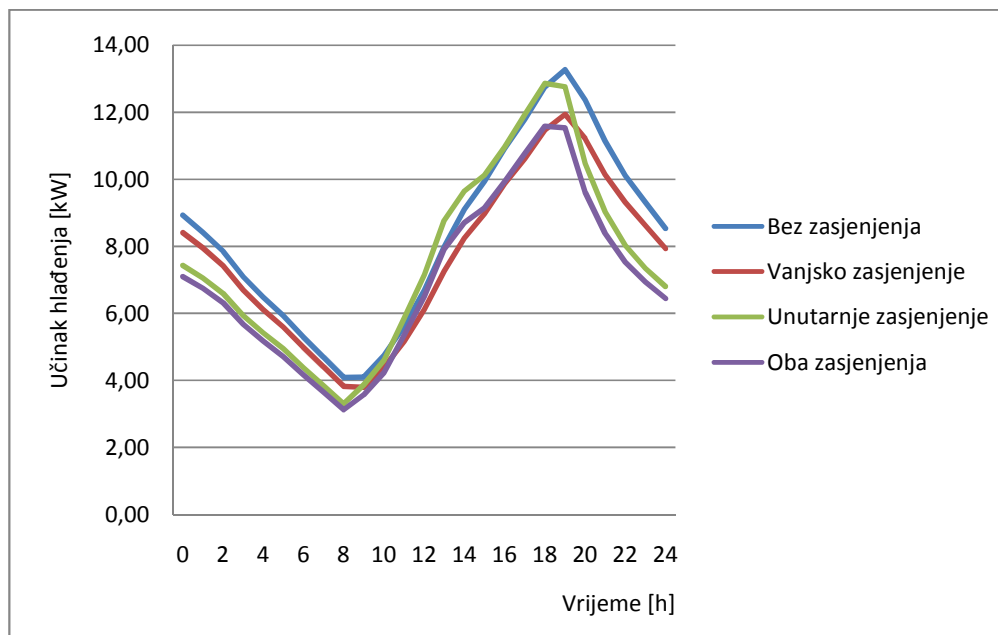


Slika 22. Satni prikaz temperature karakterističnih površina za slučaj 3

Iz priložene slike vidljivo je da temperatura zidova izrazito varira u ovisnosti o godišnjem dobu, preko zime se spušta ispod 20 °C, a ljeti raste preko 30 °C što izrazito negativno utječe na osjećaj ugone kod osoba.

3.4.1. Prikaz rezultata ostalih slučajeva, slučajevi 1, 2, 3 i 4

U ovom poglavlju grafički će biti prikazane razlike toplinskog opterećenja prostora za kritičan dan, te tablično dane ukupne vrijednosti energije potrebne za hlađenje u ovisnosti o zasjenjenju prozora. S obzirom na to da na toplinske gubitke prostora sunčevo zračenje utječe vrlo malo te da se proračun grijanja vrši neovisno o vrsti zasjenjenja, u ovom radu grijanje se neće opisivati za svaki slučaj posebno.



Slika 23. Ovisnost toplinskih dobitaka o zasjenjenju za slučajeve 1, 2, 3 i 4

Tablica 9. Ovisnost rashladnog opterećenja o vrsti zasjenjenja

Vrsta zasjenjenja	Rashladno opterećenje [kWh/m ² god]
Bez zasjenjenja	29,00
Vanjsko zasjenjenje	25,12
Unutarnje zasjenjenje	26,91
Oba zasjenjenja	23,77

Ova usporedba opisuje razliku energije potrebne za hlađenje za ovaj tip gradnje u Zagrebu, a parametar koji se mijenja jest tip zasjenjenja. Iz Slike 23. i Tablice 9. može se uočiti da dodavanjem zasjenjenja potrebna energija za hlađenje prostora značajno opada.

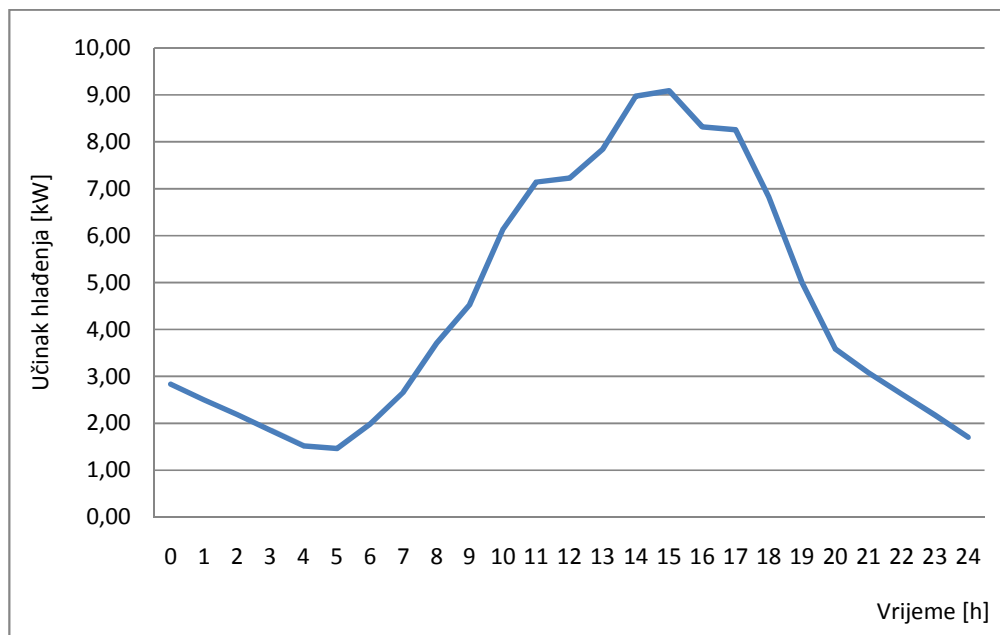
3.5. Objekt sagrađen između 1986. i 2008. godine, smješten u Zagrebu

Detaljan prikaz dobivenih rezultata za ovaj tip objekta, kod kojeg postoji određena izolacija zidova, ali koja još uvijek nije dovoljna, biti će dan za slučaj postojanja oba zasjenjenja, vanjskog te unutrašnjeg. U narednoj tablici dan je prikaz ukupne energije potrebne za grijanje i hlađenje prostora, te raspodijela energije po mjesecima.

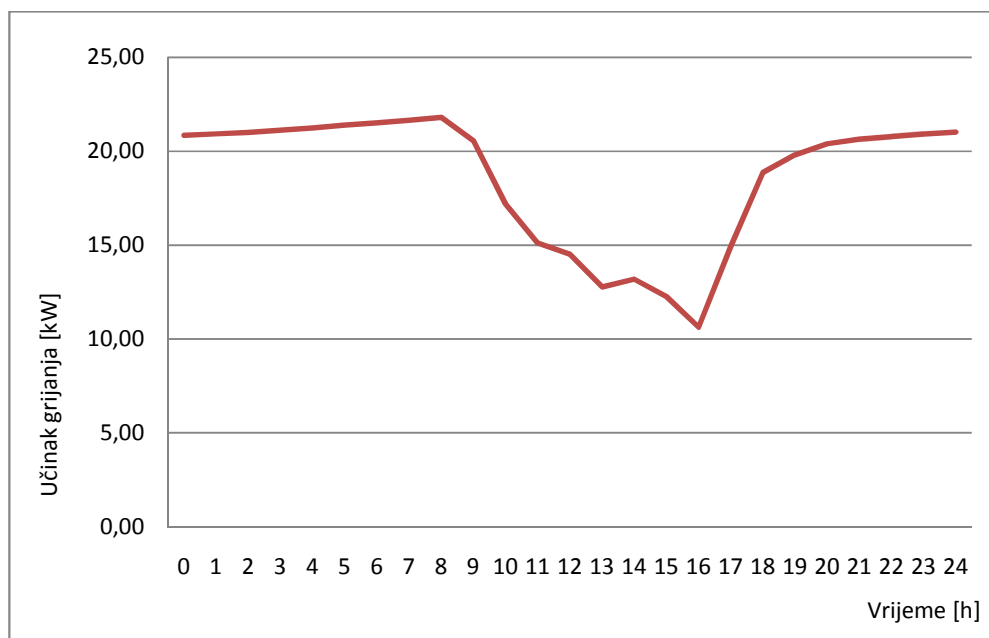
Tablica 10. Mjesečni prikaz energije potrebne za hlađenje i grijanje, slučaj 8

	Hlađenje (osjetna toplina)	Hlađenje (latentna toplina)	Grijanje
Mjesec	kWh	kWh	kWh
Siječanj	0,00	0,00	10430,05
Veljača	0,00	0,00	7692,89
Ožujak	0,53	0,91	6074,35
Travanj	9,61	90,41	3008,04
Svibanj	109,06	157,38	1097,15
Lipanj	454,54	399,95	319,59
Srpanj	928,47	550,77	11,79
Kolovoz	794,70	574,78	91,50
Rujan	228,81	364,12	845,81
Listopad	0,16	176,48	3729,64
Studen	0,00	21,31	6978,26
Prosinac	0,00	0,00	10077,16
	2525,90	2336,10	
Σ		4862,00	50356,23

Iz Tablice 10. vidi se da je ukupna energija potrebna za ohladiti ovaj prostor 4862 kWh godišnje, što je 23,46 kWh/m²god, dok je za grijanje potrebno utrošiti 50356 kWh na godinu što je više od duplo manje nego u prethodnom slučaju. To je rezultat postavljanja barem simbolične izolacije u ovaj tip objekta, poboljšanja sustava zasjenjenja (postavljene su vanjske aluminijske žaluzine), te upotrebe kvalitetnijih prozora čime se smanjila infiltracija (Tablica 1.). Vidljivo je da se, ukoliko se žele održati zahtijevani parametri unutar prostora, sustav grijanja se mora koristiti u ljetnim mjesecima, dok se sustav hlađenja koristi u zimskim mjesecima kako bi u prostoru održavao zahtijevanu relativnu vlažnost zraka. I ovdje će biti dani dijagrami satnog rashladnog i toplinskog opterećenja na karakterističan dan, kako bi se prikazalo maksimalno rashladno i toplinsko opterećenje. U sezoni hlađenja karakterističan dan je već spomenuti 20. kolovoz, a u sezoni grijanja taj dan je 13. siječanj.

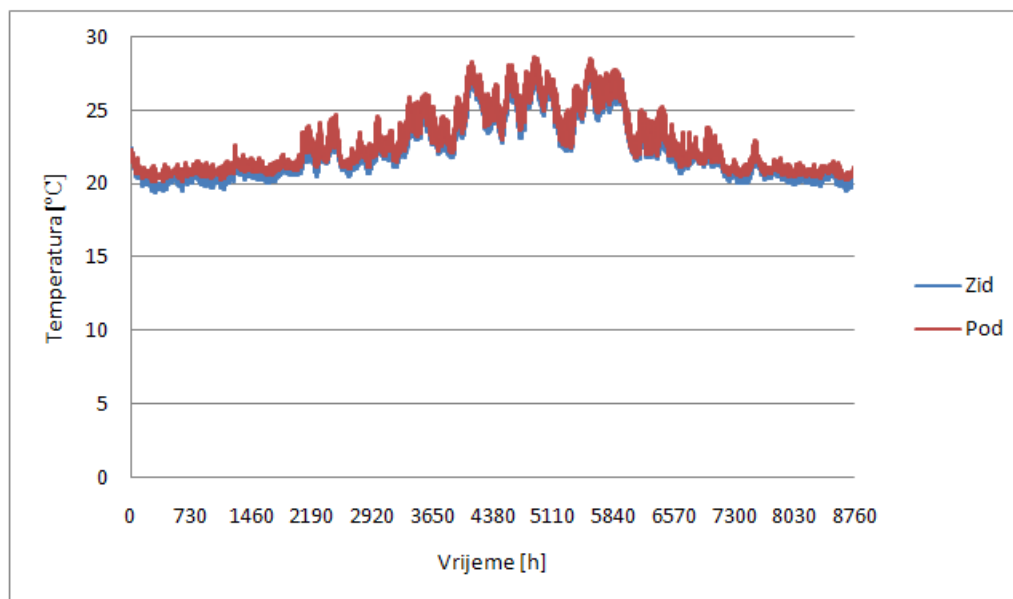


Slika 24. Satno opterećenje za hlađenje, 20. kolovoz



Slika 25. Satno opterećenje za grijanje, 13. siječanj

Ova dva dijagrama govore koliko je maksimalno rashladno odnosno toplinsko opterećenje prostora. Taj se maksimum javlja kao što je i ranije navedeno u samo jednom satu u godini te se ne preporuča dimenzioniranje sustava na tu vrijednost. Ono može služiti u informativne svrhe, te iznosi za hlađenje 9,08 kW u 15 sati, a za grijanje 21,80 kW u 8 sati ujutro. Važnost temperatura zidova već je naznačena te će se vrijednosti temperatura karakterističnih površina prikazati sljedećim dijagramom.

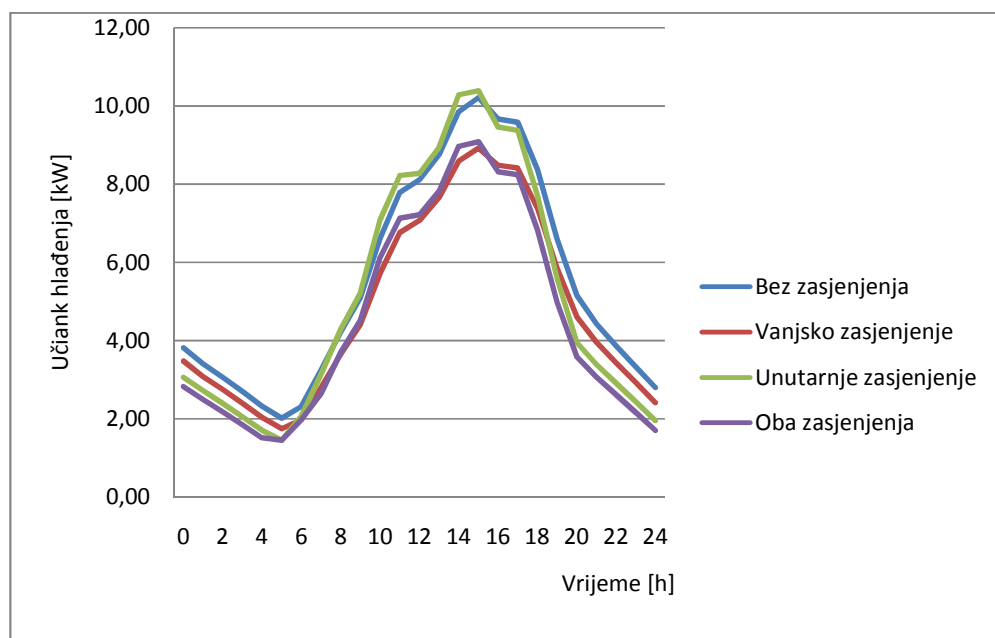


Slika 26. Satni prikaz temperature karakterističnih površina, slučaj 8

Iz Slike 26. vidi se da su u ovom slučaju temperature površina znatno konstantnije te nemaju toliko izražene maksimume i minimume. Situacija još uvijek nije dobra jer u zimskom razdoblju temperatura zida pada ispod 20 °C, a ljeti poraste iznad 28 °C, međutim znatno je bolja nego u prethodnom slučaju.

3.5.1. Prikaz ostalih slučajeva, slučajevi 5, 6, 7 i 8

U ovom poglavlju grafički će biti prikazane razlike toplinskog opterećenja prostora za kritični dan, te tablično dane ukupne vrijednosti energije potrebne za hlađenje u ovisnosti o zasjenjenju prozora. Kao što smo prethodno naveli vrsta zasjenjenja nema utjecaja na količinu energije potrebne za grijanje, pa taj proračun neće biti obuhvaćen u ovom poglavlju. Naravno i ovdje se svi prikazi temelje na objektu sagrađenom između 1986. i 2008. godine, smještenom u Zagrebu.



Slika 27. Ovisnost toplinskih dobitaka o zasjenjenju za slučajeve 5, 6, 7 i 8

Tablica 11. Ovisnost rashladnog opterećenja o vrsti zasjenjenja

Vrsta zasjenjenja	Rashladno opterećenje [kWh/m ²]
Bez zasjenjenja	23,83
Vanjsko zasjenjenje	19,64
Unutarnje zasjenjenje	23,46
Oba zasjenjenja	19,45

Iz Slike 27., te Tablice 11. vidljivo je da rashladno opterećenje opada dodavanjem zasjenjenja. Uz to se još dodatno može primijetiti da se dodavanjem vanjskog zasjenjenja može uštediti znatno više energije nego postavljanjem unutarnjeg zasjenjenja.

3.6. Objekt sagrađen nakon 2008. godine, smješten u Zagrebu

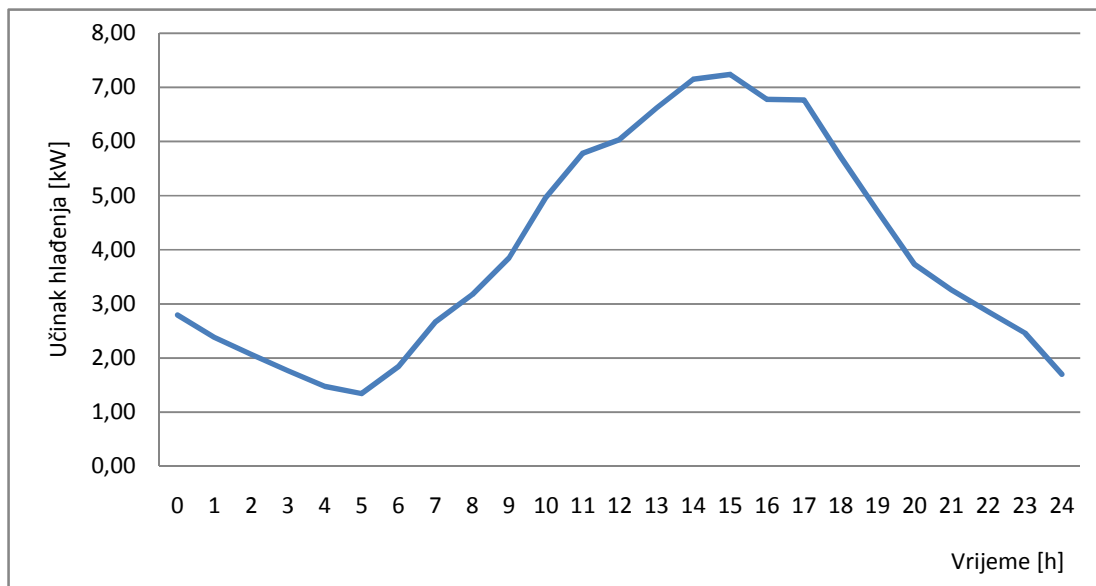
Ovaj tip zgrade zadovoljava sve tehničke propise o uštedi toplinske energije i toplinske zaštite u zgradama. To se postiglo dobrom izolacijom zidova, te ugradnjom visoko kvalitetnih dvostrukih prozora, koji imaju mali stupanj infiltracije i mali koeficijent prolaza topline, jer je međuprostor između stakala punjen inertnim plinom, najčešće argonom ili kriptonom. Ovaj tip objekta ima jednu specifičnost, a to je da se zbog svoje dobre izoliranosti u ljetnim mjesecima ne hladi (ili bolje reći ne hladi dovoljno brzo) kad je vanjska temperatura niža od temperature unutarnjeg zraka. To ima za posljedicu da ukoliko se ne postave zasjenjenja, sunčeva energija tokom dana kroz prozore zagrijava unutarnju stranu zidova, a zbog nemogućnosti hlađenja u noćnim satima oni griju zrak konstantno te je potrebno više energije za hlađenje nego

kod slabije izoliranih zgrada. To se rješava tako da se malo jače zasjene prozori koje sunce direktno obasjava. Upravo jedan takav slučaj će ovdje biti promotren, i to kada se u jutarnjim satima jače zasjeni (koeficijent transmisije 0,5) istočna strana objekta, u popodnevnom zapadna strana, dok je južna strana zasjenjena od kasnog prijepodneva do rane večeri. Sjeverna strana objekta neće biti posebno zasjenjena, postoji samo unutarnje zasjenjenje.

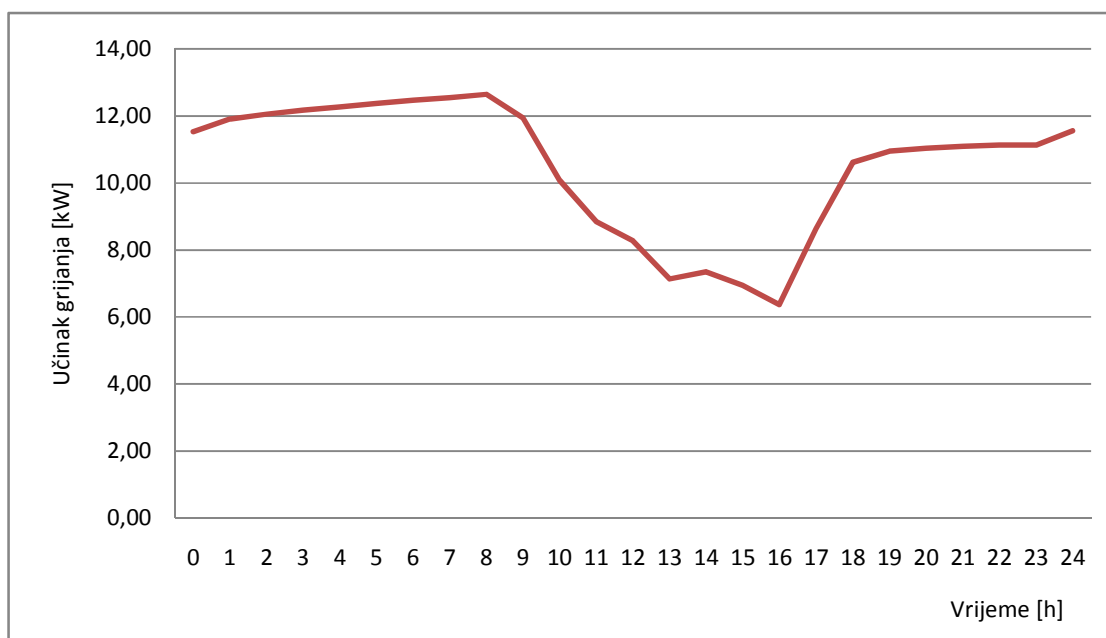
Tablica 12. Mjesečni prikaz energije potrebne za grijanje i hlađenje, za preporučeni slučaj

	Hlađenje (osjetna toplina)	Hlađenje (latentna toplina)	Grijanje
Mjesec	kWh	kWh	kWh
Siječanj	0,00	0,00	5095,51
Veljača	0,00	0,00	3418,98
Ožujak	2,63	2,70	2376,97
Travanj	22,57	84,08	777,17
Svibanj	193,08	135,73	140,66
Lipanj	534,38	357,81	4,58
Srpanj	972,65	502,99	0,00
Kolovoz	787,80	519,70	0,00
Rujan	238,08	336,01	65,37
Listopad	2,89	178,68	1217,72
Studen	0,00	30,11	3072,03
Prosinac	0,00	0,00	4969,26
	2754,00	2148,00	
Σ		4902	21138,23

Osvrtom na gore navedenu tablicu, može se primijetiti da se dodavanjem izolacije na zidovima, te poboljšanjem kvalitete prozora, što je posljedicu imalo smanjivanje gubitaka topline provođenjem kroz zidove, drastično smanjuje energija potrebna za grijanje (sada iznosi 21138 kWh godišnje, dok je u prethodnom slučaju iznosila 50356 kWh godišnje). Time je i riješen problem rada sustava za grijanje u ljetnim mjesecima, kao što se može vidjeti u srpnju i kolovozu ne postoje zahtjevi za grijanje. Smanjenjem infiltracije zraka na razinu zakonskog minimuma smanjila se i količina ukupne odvedene latentne energije u zimskom razdoblju (ožujak, listopad, studeni). U sljedeća dva dijagrama biti će prikazano maksimalno toplinsko odnosno rashladno opterećenje za kritičan dan (za hlađenje 20. kolovoz, a za grijanje 13. siječanj).

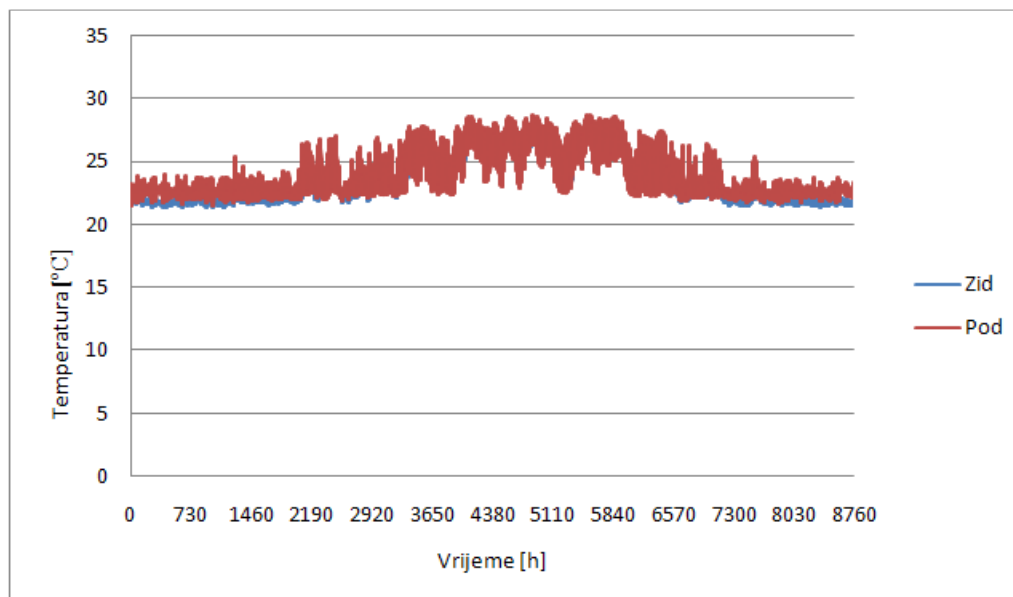


Slika 28. Satno opterećenje za hlađenje, 20. kolovoz



Slika 29. Satno opterećenje za grijanje, 13. siječanj

Na gore prikazanim dijagramima jasno se vidi da se maksimalno rashladno opterećenje u ovom slučaju javlja 20. kolovoza u 15 sati te ono iznosi 7,24 kW. Analogno tome može se očitati i maksimalno toplinsko opterećenje na kritičan dan u 8 sati, ono iznosi 12,65 kW. Nadalje će biti prikazan dijagram karakterističnih temperatura površina unutar prostora kako bi se dao odgovor zadovoljava li ovaj slučaj uvjete toplinske ugodnosti.

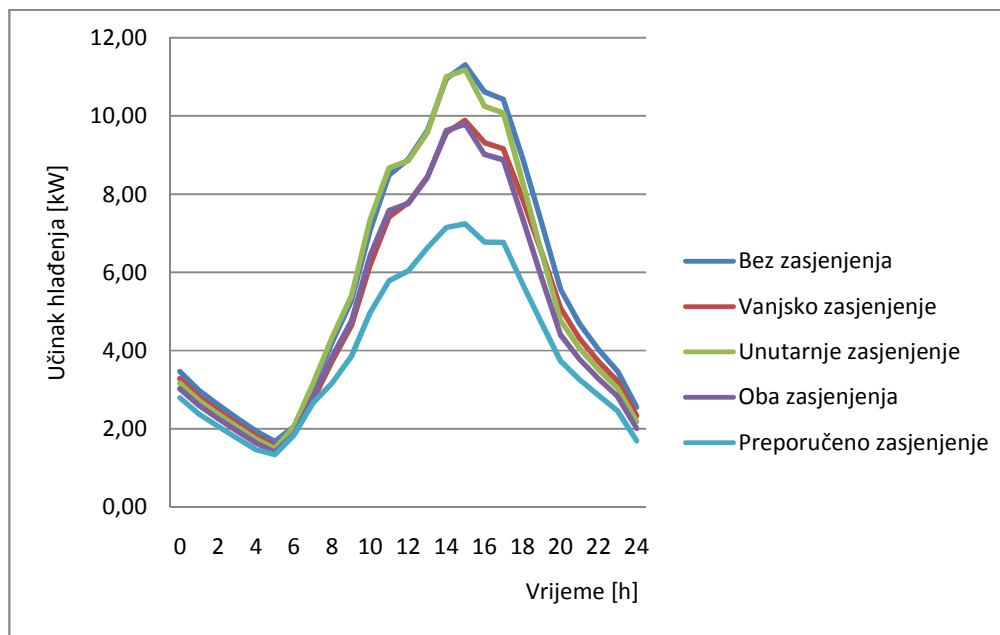


Slika 30. Satni prikaz temperature karakterističnih površina, preporučeni slučaj

Slika 30. pokazuje da je u ovom slučaju temperatura površina konstantna te ne pada ispod 21 °C niti ne raste iznad 27 °C, što u konačnici daje zadovoljavajuće uvjete toplinske ugodnosti.

3.6.1. Prikaz rezultata ostalih slučajeva, slučajevi 9, 10, 11, 12 te preporučeni slučaj

U ovom poglavlju grafički će biti prikazane razlike toplinskog opterećenja prostora za kritični dan, te tablično dane ukupne vrijednosti energije potrebne za hlađenje u ovisnosti o zasjenjenju prozora. S obzirom na to da na toplinske gubitke prostora sunčevo zračenje utječe vrlo malo te da se proračun grijanja vrši neovisno o vrsti zasjenjenja, u ovom radu grijanje se neće opisivati za svaki slučaj posebno. Kao i u prethodnim poglavljima i u ovom ova usporedba se ograničava na ovaj tip zgrade i grad Zagreb.



Slika 31. Ovisnost toplinskih dobitaka o zasjenjenju, za slučajeve 9, 10, 11, 12 te preporučeni

Tablica 13. Ovisnost relativnog rashladnog opterećenja o vrsti zasjenjenja

Vrsta zasjenjenja	Rashladno opterećenje [kWh/m ²]
Bez zasjenjenja	37,61
Vanjsko zasjenjenje	30,02
Unutarnje zasjenjenje	35,96
Oba zasjenjenja	28,87
Preporučeno zasjenjenje	19,61

Iz gore priloženih dijagrama i tablica jasno se vidi da ukoliko se na ovaj tip zgrade ne postavi zasjenjenje ili ako je to zasjenjenje nedovoljno, izrazito raste rashladno opterećenje. To rashladno opterećenje je čak i veće nego kod objekta bez izolacije.

3.7. Objekt smješten u Splitu

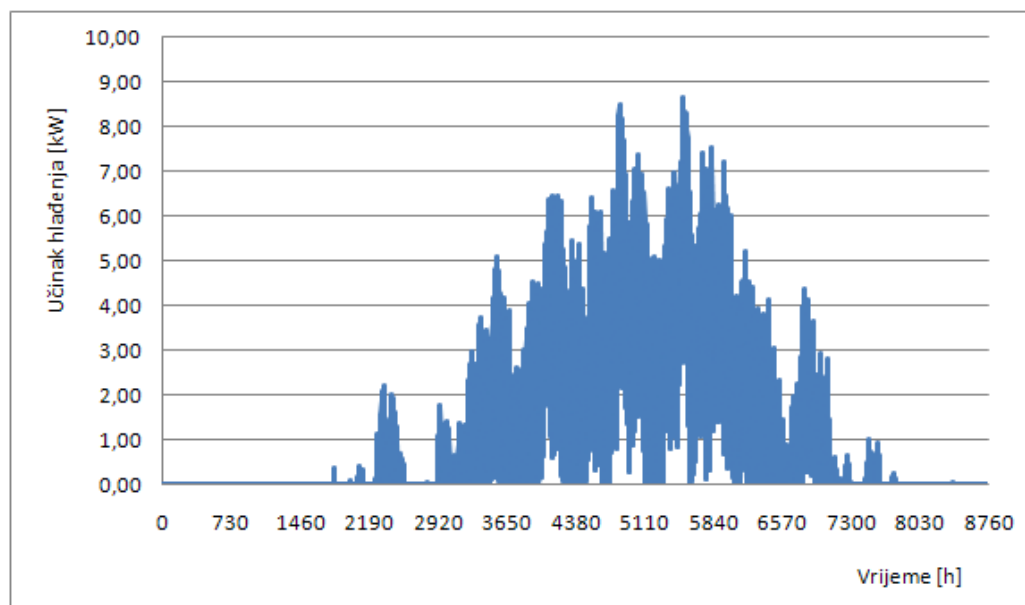
Prilikom prikaza rezultata dobivenih za Split koristiti će se one iste varijante koje su detaljno obrađene za slučaj Zagreba. Međutim, s obzirom na sličnost dijagrama za Split i Zagreb, detaljno će biti obrađen samo slučaj novogradnje sa preporučenim zasjenjenjem dok će za ostale slučajeve karakteristični rezultati biti dani tablično.

3.7.1. Objekt sagrađen nakon 2008. godine

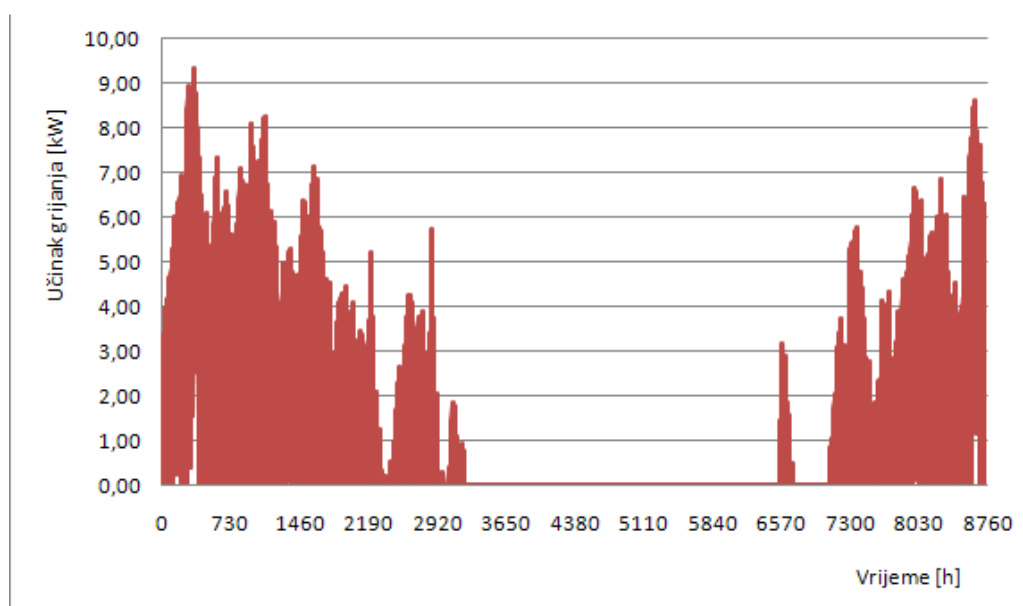
Tablica 14. Mjesečni prikaz energije potrebne za grijanje i hlađenje, preporučeni slučaj

	Hlađenje (osjetna toplina)	Hlađenje (latentna toplina)	Grijanje
Mjesec	kWh	kWh	kWh
Siječanj	0,00	0,00	3078,66
Veljača	0,00	0,00	2272,02
Ožujak	3,13	0,00	1517,10
Travanj	57,11	29,95	596,59
Svibanj	533,20	75,98	58,71
Lipanj	1260,11	205,79	0,00
Srpanj	2156,41	289,98	0,00
Kolovoz	2005,52	430,12	0,00
Rujan	922,93	284,52	0,00
Listopad	235,38	131,16	249,31
Studen	6,14	29,27	1502,20
Prosinac	0,00	0,23	2558,73
	7180,00	1477,00	
Σ		8657	11833

Pregledom gore prikazane tablice odmah se uočava izrazita razlika između klimatskih uvjeta koji vladaju u Splitu i onih koji vladaju u Zagrebu. Godišnja potrošnja energije za grijanje prostora gotovo se za dvostruko smanjila (11833 kWh godišnje u Splitu, 21131 kWh godišnje u Zagrebu), dok se godišnja potrošnja energije za hlađenje prostora gotovo dvostruko uvećala (8657 kWh godišnje u Splitu, nasuprot 4902 kWh godišnje u Zagrebu). Specifičnost u ovom slučaju se očituje potrebom za hlađenje u ožujku, travnju, listopadu i studenom. Razlog tome je blaga mediteranska klima zbog koje su nešto više vanjske temperature nego u Zagrebu, te veliki broj sunčanih dana koji povećavaju toplinske dobitke prostora. Osim toga može se primijetiti da sustav za grijanje nema potrebu raditi od lipnja do rujna. U naredna dva dijagrama biti će prikazana satna raspodjela toplinskog i rashladnog opterećenja prostora.

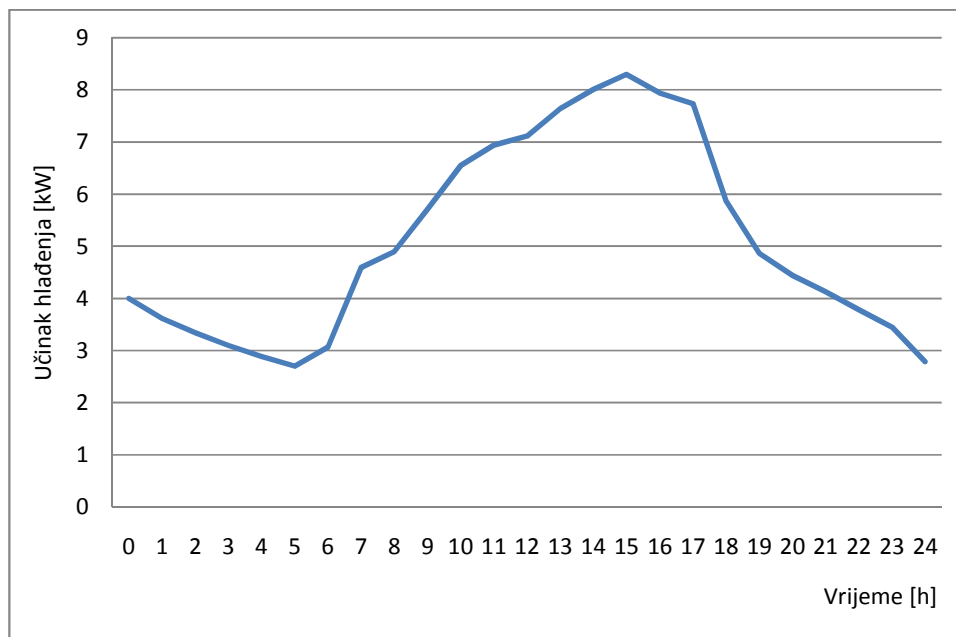


Slika 32. Satna raspodjela energije za hlađenje, preporučeni slučaj

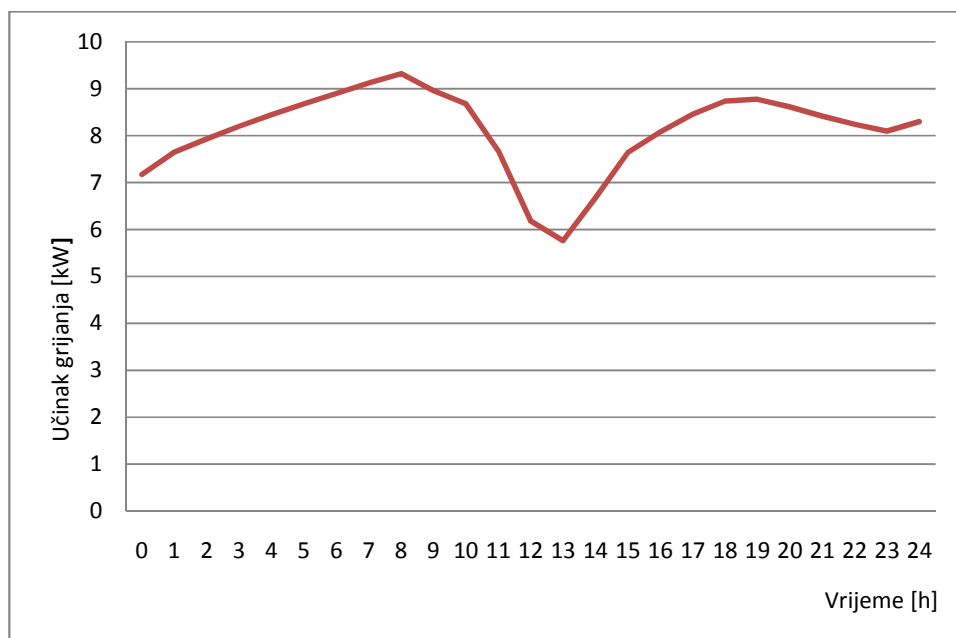


Slika 33. Satna raspodjela energije za grijanje, preporučeni slučaj

Na ova dva dijagrama se jasno može vidjeti kad je energija hlađenje, odnosno grijanje najpotrebnija, a kad za njom nema potrebe. Integracijom tih dijagrama dobiva se ukupna energija potrebna za grijanje, odnosno hlađenje prostora. Kao i u prethodnim poglavljima i ovdje će biti predložena satna raspodjela toplinskog i rashladnog opterećenja za kritičan dan. Kritičan dan u sezoni hlađenja je 20. kolovoz, a za grijanje 15. siječanj.

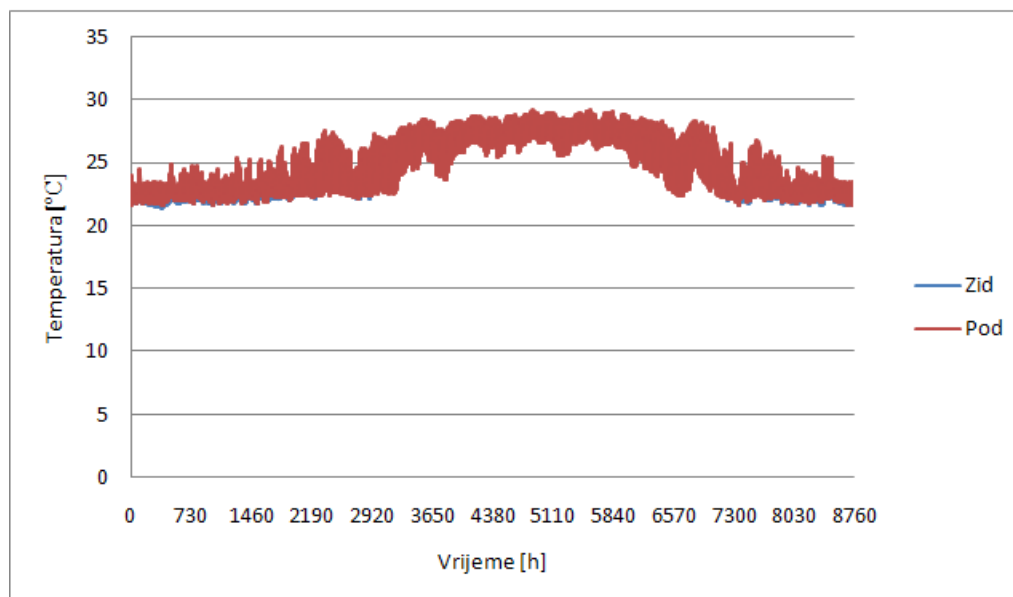


Slika 34. Satno opterećenje za hlađenje, 20. kolovoz



Slika 35. Satno opterećenje za grijanje, 15. siječanj

Iz ova dva dijagrama mogu se odrediti maksimalno toplinsko i rashladno opterećenje koje se javlja u zadanom prostoru. Ono traje samo jedan sat u godini te treba razmisliti hoće li se sustav projektirati za to opterećenje. Maksimalno rashladno opterećenje na kritični dan javlja se u 15 sati te iznosi 8,30 kW. Maksimalno toplinsko opterećenje javlja na kritični dan javlja se u 8 sati ujutro te iznosi 9,32 kW. U sljedećem dijagramu dane su temperature karakterističnih površina kroz godinu.



Slika 36. Satni prikaz temperature karakterističnih površina,
za preporučeni slučaj

Iz prikazanog dijagrama vidi se da se temperature zida i poda gotovo poklapaju te da ne dolazi do velikih skokova tih temperatura. Time se može zaključiti da su u ovome slučaju zadovoljeni uvjeti toplinske ugodnosti jer temperatura zidova ne odstupa puno od temperature zraka u prostoru.

3.7.2. Prikaz ostalih rezultata dobivenih za Split, slučajevi od 13 do 24

U ovom poglavlju tablično će se dati prikazi mjesečne i ukupne potrebne energije za grijanje i hlađenje ostalih tipova objekata. Uz to biti će predstavljena tablica maksimalnog toplinskog i rashladnog opterećenja na kritičan dan (20. kolovoz i 15. siječanj).

Tablica 15. Mjesečni prikaz energije potrebne za grijanje i hlađenje objekta sagrađenog prije 1986. godine, slučaj 15

	Hlađenje (osjetna toplina)	Hlađenje (latentna toplina)	Grijanje
Mjesec	kWh	kWh	kWh
Siječanj	0,00	0,00	13497,93
Veljača	0,00	0,00	10386,90
Ožujak	0,00	0,00	7378,34
Travanj	31,61	48,51	3497,35
Svibanj	708,89	85,90	570,08
Lipanj	2239,59	244,01	4,52
Srpanj	4534,70	341,27	0,00
Kolovoz	3948,06	570,32	0,00
Rujan	1258,14	394,97	70,80
Listopad	155,93	218,53	2126,38
Studen	0,00	32,06	7893,86
prosinac	0,00	0,00	11916,17
	12877,00	1935,50	
Σ		14812,50	57342,34

Ova tablica daje prikaz mjesečne i ukupne količine energije za hlađenje i grijanje prostora za objekt koji je napravljen prije 1986. godine. Iz Tablice 15. može se vidjeti da je u usporedbi s prethodnim (najboljim) slučajem energija potrebna za grijanje narasla za pet puta, dok se energija potrebna za hlađenje gotovo udvostručila. Specifičnost ovog slučaja je i u tome što u ukupnoj energiji potrebnoj za hlađenje, latentno opterećenje čini samo manji dio.

Tablica 16. Mjesečni prikaz energije potrebne za grijanje i hlađenje objekta sagrađenog između 1986. i 2008. Godine, slučaj 20

	Hlađenje (osjetna toplina)	Hlađenje (latentna toplina)	Grijanje
Mjesec	kWh	kWh	kWh
Siječanj	0,00	0,00	5829,71
Veljača	0,00	0,00	4401,49
Ožujak	0,42	0,00	3157,77
Travanj	36,27	33,01	1466,47
Svibanj	488,09	68,31	236,44
Lipanj	1465,60	189,41	0,00
Srpanj	2891,50	263,67	0,00
Kolovoz	2722,10	435,30	0,00
Rujan	1161,08	278,78	2,07
Listopad	254,30	132,74	624,19
Studen	3,65	23,39	3070,87
Prosinac	0,00	0,00	4942,52
	9023,00	1424,60	
Σ		10447,60	23731,54

Ono što je rečeno za prethodnu tablicu može ponoviti i za ovu osim što se mora primijetiti da se dodavanjem izolacije prepolovila godišnja potreba za energijom za grijanje, te se smanjila i potreba za godišnjom potrošnjom rashladne energije i to za 50%.

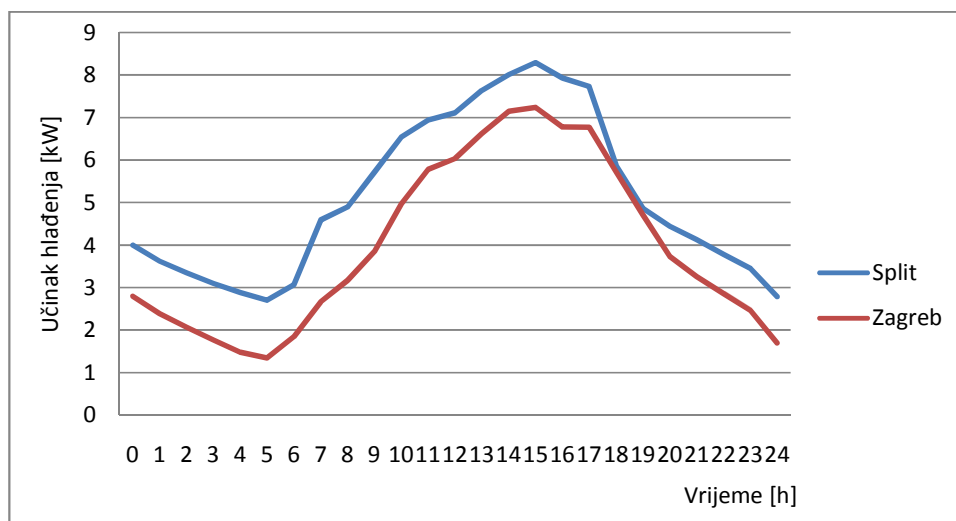
Tablica 17. Maksimalno toplinsko i rashladno opterećenje za kritičan dan za Split

Vrsta opterećenja/Objekt	Objekt sagrađen prije 1986. godine	Objekt sagrađen između 1986. i 2008. godine
Maksimalno rashladno opterećenje [kW]	16,46	11,61
Maksimalno toplinsko opterećenje [kW]	33,05	16,01

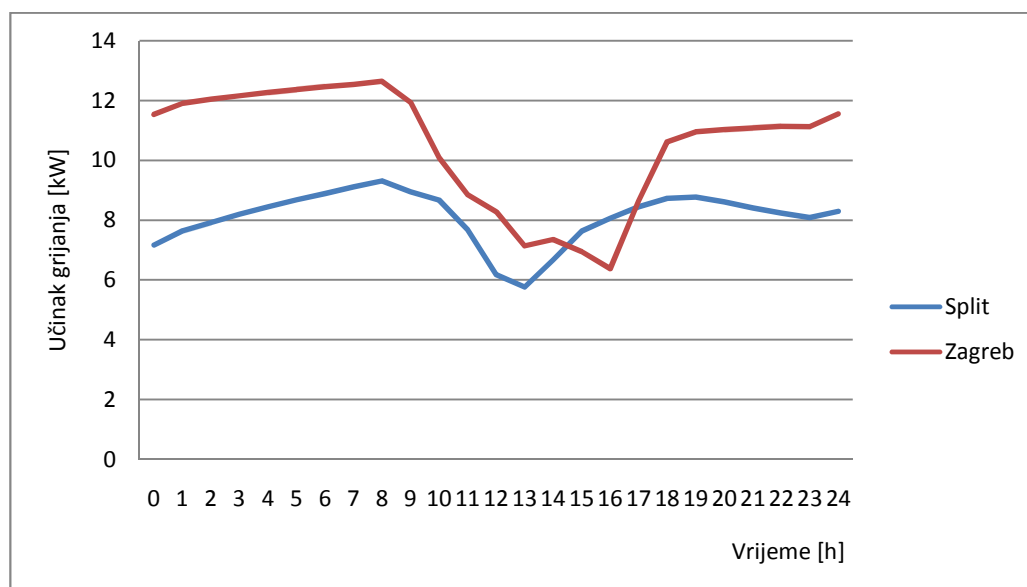
Iz Tablice 16. vidi se da se poboljšavanjem građevnih elemenata, dodavanjem izolacije te poboljšavanjem kvalitete prozora znatno smanjuju maksimalna rashladna, odnosno toplinska opterećenja. Naravno da se toplinsko opterećenje više reducira jer ono više ovisi o izoliranosti prostora, a kako je ova tablica dana za isto zasjenjenje, rashladno se opterećenje nešto manje reduciralo.

3.8. Usporedba rezultata dobivenih za Zagreb i Split

Iz ranije navedenih podataka lako se mogu izvući zaključci o potrošnji energije kako za grijanje tako i za hlađenje za oba ovdje promatrana grada. Odmah se može uočiti da su karakteristike krivulja projektnih dana za Zagreb i za Split gotovo jednake, međutim vrijednosti toplinskih gubitaka, odnosno dobitaka su bitno različite. Kao što se moglo i pretpostaviti kontinentalna klima sa Zagrebom kao predstavnikom ima znatno veće potrebe za grijanjem, dok tipična mediteranska klima koja vlada u Splitu predstavlja veći problem za hlađenje. Naredna dva dijagrama to vrlo zorno ilustriraju. Oba dijagrama su dana za isti tip objekta, te isto zasjenjenje.



Slika 37. Razlika toplinskih dobitaka za Zagreb i Split, 20. kolovoz



Slika 38. Toplinski gubici za Zagreb (12. siječanj) i Split (13. siječanj)

3.9. Utjecaj veličine prozora na potrošnju energije za hlađenje

Jedan od najvažnijih parametara ako se promatra energija potrebna za hlađenje nekog prostora je uz tip zasjenjenja i veličina prozora na koje se to zasjenjenje postavlja. Upravo zbog toga ovdje je napravljen kratki osvrt o utjecaju veličine prozora na energiju potrebnu za hlađenje. Ovaj osvrt je napravljen u skladu sa „Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama“ (NN110/08). U tom propisu se definira koeficijent f (-), kao udio ploštine prozora u ukupnoj ploštini pročelja. Ovdje će biti razmatrana tri slučaja, Tablica 18.

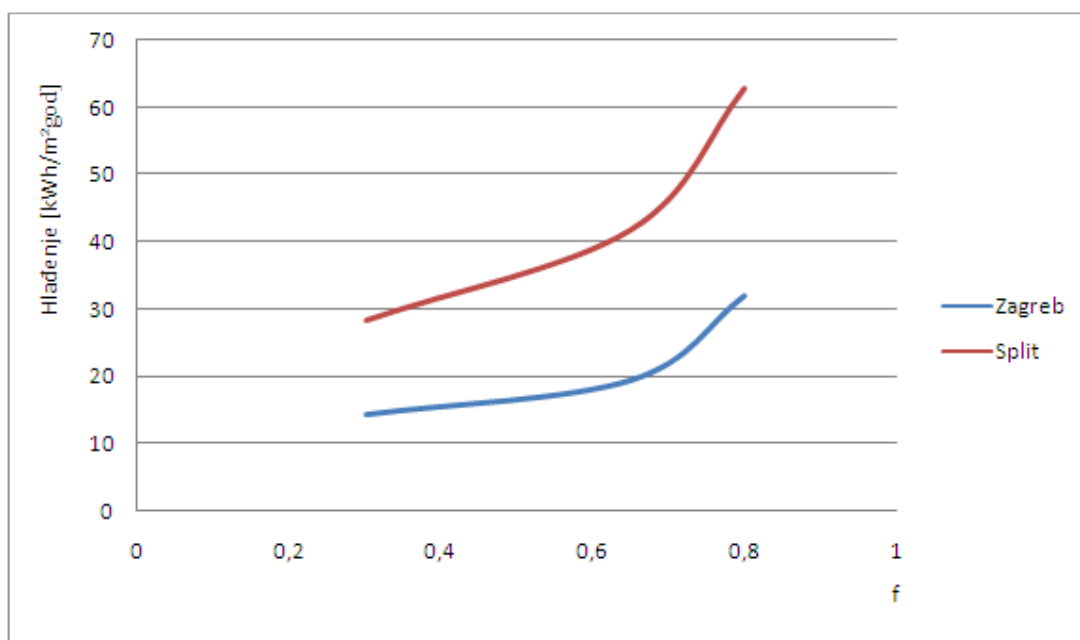
Tablica 18. Promatrani slučajevi

Promatrani slučaj	Udio ploštine prozora u ukupnoj ploštini pročelja
f=0,3	30%
f=0,65	65%
f=0,8	80%

Kako bi se rezultati mogli uspoređivati sve simulacije napravljene su za isti tip zgrade. Za ovaj osvrt odabran je tip objekta građen između 1986. i 2008. godine, koji sadrži oba zasjenjenja na prozorima (vanjska žaluzina pod kutom od 25°, te unutarnja platnena zavjesa). Radi što vjerodostojnijeg prikaza simulacija je napravljena i za Zagreb i za Split, a rezultati su prikazani u Tablici 19., te Slici 39.

Tablica 19. Ovisnost relativnog rashladnog opterećenja o veličini prozora

Veličina prozora/Grad	Zagreb [kWh/m ² god]	Split [kWh/m ² god]
f=0,3	14,37	28,26
f=0,65	19,45	41,79
f=0,8	31,89	62,88



Slika 39. Utjecaj veličine prozora na relativno rashladno opterećenje

Kao što se može vidjeti iz gore prikazanih podataka, količina energije potrebne za hlađenje jako ovisi o veličini prozora. Povećanjem veličine prozora vidi se gotovo eksponencijalan rast relativnog rashladnog opterećenja.

4. Potvrda dobivenih rezultata

Usporedba rezultata provedene analize izvodi se s ciljem potvrde valjanosti postavljenog matematičkog modela. Prava verifikacija uključivala bi mjerenje ali je to u ovim okvirima neizvedivo. Iz tog razloga rezultati će biti potvrđeni drugim računalnim programom.

U ovom konkretnom slučaju potrebno je provjeriti točnost ukupne količine energije potrebne za grijanje i hlađenje karakteristične zgrade. Kako je već napisano rezultati objavljeni u ovom radu dobiveni su korištenjem programa TRNSYS 16. Za verifikaciju dobivenih podataka koristiti će se program IntegraCAD 2007 Suite. Ovaj program je odabran zato što se tim programom služi većina inženjera prilikom dimenzioniranja opreme za ogrjevne i rashladne sustave. Program se bazira na dvjema normama: za proračun grijanja koristi normu EN 12831, a za proračun hlađenja normu VDI 2078. Ovaj program kao rezultate daje maksimalno rashladno satno opterećenje te maksimalno toplinsko opterećenje za karakterističan (projektni) dan, te se stoga u njemu ne može raditi godišnja analiza potrošene energije kako za grijanje tako i za hlađenje.

Kako računalni program IntegraCAD ima određena ograničenja, tako će se i ovo verificiranje podataka ograničiti samo na pojedine slučajeve. Verifikacijom tih slučajeva smatrat će se verificiranim cjelokupni matematički model.

4.1. Ograničenja

Osnovno ograničenje jest to da se neće promatrati svi tipovi objekata, već samo objekti napravljeni po normama i tehničkim propisima donesenim 2008., objavljenim u Narodnim novinama br. 110/2008. To ograničenje se uvodi zato što svi objekti koji se danas grade, i koji će se naravno graditi u budućnosti moraju zadovoljavati te propise, te je stoga ta verifikacija najpotrebnija i zapravo jedina relevantna. Sljedeće ograničenje uvjetuje program IntegraCAD, i ono se odnosi na proračun hlađenja. Spomenuti program sadrži četiri različite klimatske zone napravljene po VDI 2078 normi. Prema Članku 56. Tehničkog propisa o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08) za toplinske proračune, Republika Hrvatska je podijeljena u pet zona, i to prema prostornoj raspodjeli srednje godišnje sume globalnog zračenja i srednje godišnje temperature zraka. Upravo po tom tehničkom propisu, grad Zagreb spada u 2. klimatsku zonu, dok Split spada u 5. klimatsku zonu. Kao što je već vidljivo verifikacija će moći biti napravljena za Zagreb, dok za Split to nažalost neće biti moguće. Međutim, s obzirom na to da je isti matematički model korišten za oba grada, potvrdom podataka za Zagreb, smatrat će se potvrđenim podaci za Split.

4.2. Potvrda modela grijanja

4.2.1. Zagreb

Zimska projektna temperatura za grad Zagreb je $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, uz infiltraciju od 0.5 h^{-1} te uz već navedene koeficijente prolaza dobivamo sljedeće podatke koji će biti uspoređeni sa podacima dobivenim pomoću TRNSYS-a.

Tablica 20. Usporedba maksimalnih toplinskih gubitaka za Zagreb

Program	Gubici topline [W/m^2]	Odstupanje [%]
TRNSYS 16	50,60	9,64
IntegraCAD	56	

Iz Tablice 20. vidljivo je da odstupanje rezultata iznosi manje od 10%, konkretno 9,64%. IntegraCAD prilikom proračuna grijanja ne daje satno opterećenje za kritični dan, već samo maksimalnu vrijednost toplinskih gubitaka, te su iz tog razloga te vrijednosti i uspoređene.

4.2.2. Split

Zimska projektna temperatura za Split je $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ te koristeći ostale podatke identične kao u slučaju Zagreba dobiva se Tablica 21.

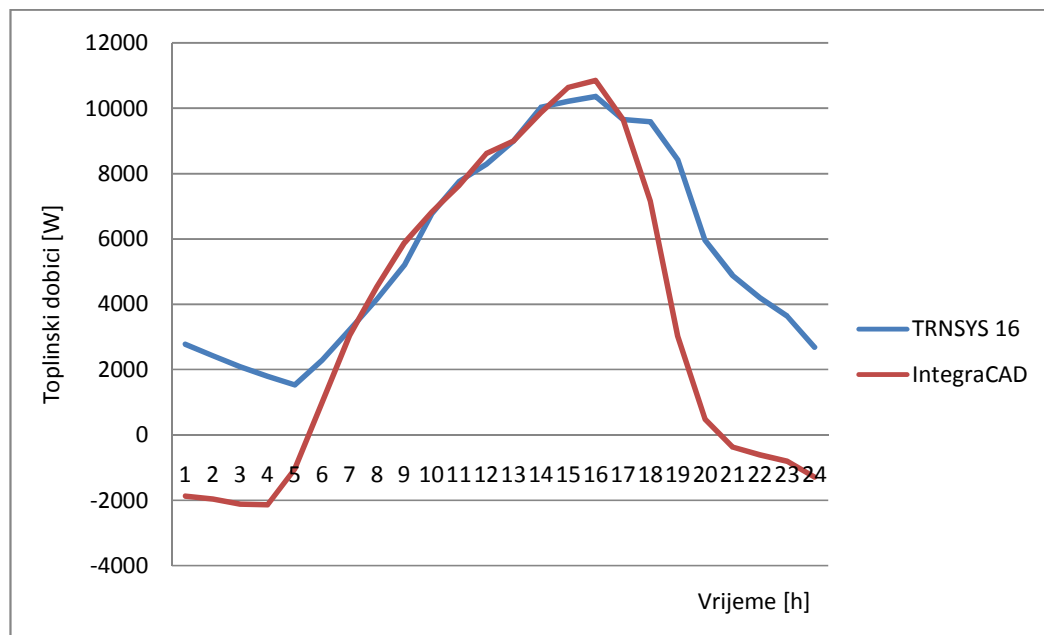
Tablica 21. Usporedba maksimalnih toplinskih gubitaka za Split

Program	Gubici topline [W/m^2]	Odstupanje [%]
TRNSYS 16	37,28	9,07
IntegraCAD	41	

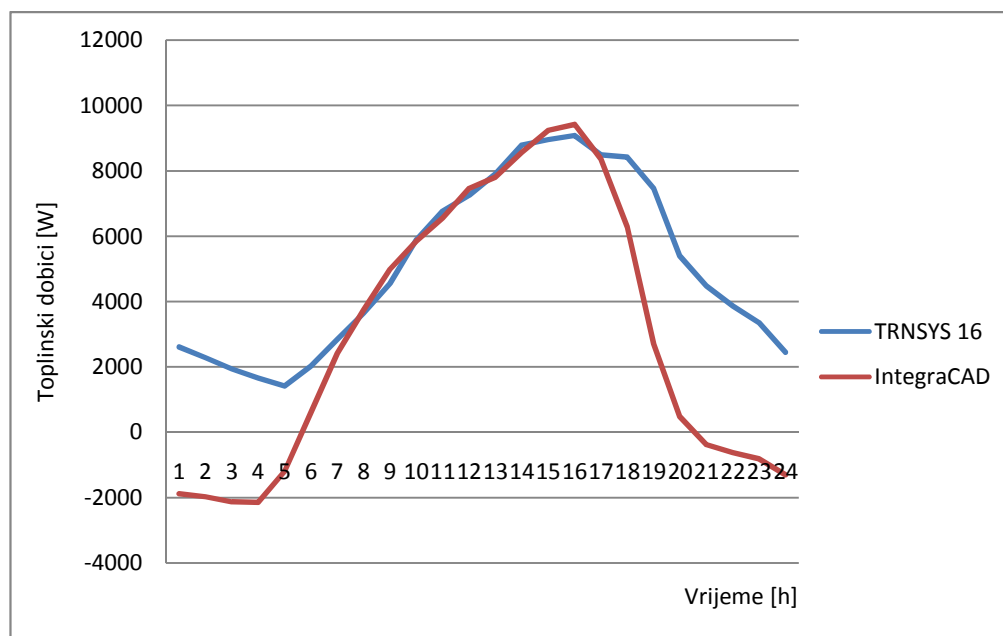
Kao i za slučaj Zagreba, iz Tablice 21. vidljivo je da odstupanje rezultata iznosi manje od 10%, točnije 9,07%.

4.3. Potvrda modela hlađenja

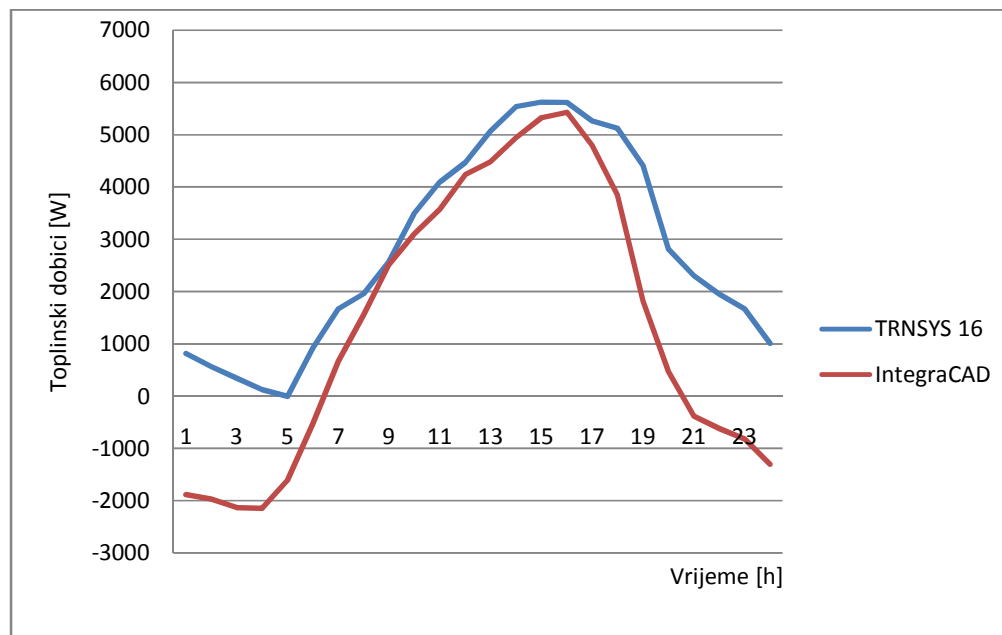
Kao što je već navedeno verifikacija podataka dobivenih za toplinske dobitke provedena je samo za Zagreb, te će usporedba podataka biti prikazana tablično i dijagramski, za karakterističan dan. IntegraCAD kao karakterističan dan uzima 23. srpanj. U skladu s time svi podaci biti će prikazani za taj dan.



Slika 40. Usporedni satni prikaz rezultata za objekt bez zasjenjenja na prozorima



Slika 41. Usporedni satni prikaz rezultata za objekt sa vanjskim zasjenjenjem na prozorima



Slika 42. Usporedni satni prikaz rezultata za objekt sa oba zasjenjenja na prozorima

Kao što se može vidjeti iz Slika 40., 41. te 42. poklapanje rezultata dobivenih pomoću TRNSYS-a i IntegraCAD-a je prihvatljivo u srednjem dijelu dana, dok se određena odstupanja javljaju u početku i pred kraj dana. Ta se odstupanja javljaju zbog različitih početnih uvjeta. U TRNSYS-u se simulacija radi za cijelu godinu (8760 sati), a kritični se dan prikazan na gornjim dijagramima samo „uzima“ iz ukupnih rezultata tako da su početni uvjeti (temperatura zraka, temperatura zidova, akumulirana energija u zidovima, itd.) za kritičan dan određeni ponašanjem objekta kroz čitav prethodni period godine. Kod IntegraCAD-a je situacija drugačija, određene početne uvjete određuje korisnik (temperaturu zraka, zidova, itd.). Zbog tih razloga dolazi do odstupanja.

Tablica 22. Vršni toplinski dobici za kritični dan

Objekt bez zasjenjenja na prozorima		
Program	Toplinski dobici [W]	Odstupanje [%]
TRNSYS 16	10359	4,55
IntegraCAD	10853	
Objekt sa vanjskim zasjenjenjem na prozorima		
TRNSYS 16	9080	3,68
IntegraCAD	9427	
Objekt sa oba zasjenjenja na prozorima		
TRNSYS 16	5620	-3,34
IntegraCAD	5432	

Iz Tablice 22. vidljivo je da su razlike između vršnih toplinskih dobitaka dobivenih TRNSYS-om i IntegraCAD-om manje nego kod razlike dobivene kod grijanja. Razlike su vrlo male te iznose između 3 i 5%.

Ovako dobivenim rezultatima, te vrlo malim razlikama može se sa sigurnošću reći da je matematički model postavljen u TRNSYS-u korektan te da su tako dobiveni rezultati relevantni. Iako verifikacija nije napravljena za svaki slučaj posebno već samo za karakteristične slučajeve, zbog već prije navedenih razloga, pretpostavlja se da ona vrijedi i za sve ostale slučajeve obuhvaćene ovim radom, a razlog tome je korištenje istog matematičkog modela za svaki od navedena 24 slučaja.

5. Prijedlozi za gradnju objekta

U skladu sa dobivenim rezultatima mogu se izvući određeni zahtjevi prilikom gradnje novih objekata i adaptacije postojećih. Tehnički propis (NN 110/08) obvezuje da se prilikom izgradnje zgrade poštuju određeni kriteriji o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Kriteriji su određeni za maksimalnu potrošnju energije za grijanje kako stambenih tako i nestambenih zgrada na temperature više od 18 °C. Uz ograničenje maksimalne godišnje potrošnje energije za grijanje po četvornom metru, zakon propisuje i maksimalnu vrijednost koeficijenta prolaska topline (U [W/m²K]) za zidove, krovove te podove zasebno. Ovime su dosta strogo definirani uvjeti gradnje zgrade te projektiranja sustava za grijanje iste. Međutim, za hlađenje slične zakonske regulative nisu još donesene, pa će se u ovom radu pokušati dati par prijedloga kako smanjiti rashladno opterećenje prostora, time naravno smanjiti dimenzije rashladnog sustava, i u konačnici smanjiti potrošnju energije potrebnu za hlađenje.

Kao što je već navedeno energija potrebna za grijanje nekog prostora isključivo ovisi o vrsti zidova, tj. o veličini koeficijenta prolaza topline, dok vrlo malo ovisi o vrsti i broju zasjenjenja na prozorima. Nasuprot tome, kod hlađenja, vrsta zidova ima određen utjecaj prilikom određivanja maksimalnih toplinskih dobitaka prostora, ali nije presudna. Znatno veći utjecaj ima zasjenjenje prozora, što je i za očekivati. Dapače, kao što se može vidjeti iz prikazanih rezultata, ukoliko se napravi zgrada s jako dobrom izolacijom, a prozori se ne zasjene dobiti će se suprotan efekt, količina energije za hlađenje će se povećati u odnosu na objekt sa slabijom izolacijom. Kroz nezasjenjene prozore ulazi velika količina sunčevog zračenja te zagrijava unutarnje zidove koji zagrijavaju zrak u prostoru. Ako su ti zidovi slabije izolirani, oni se hlade noću kad je vanjska temperatura niža, međutim ukoliko je ta izolacija jako dobra, oni se ne uspiju ohladiti tokom noći te se povećava energija potrebna za hlađenje zraka u prostoru. Jasno je da se zasjenjenje na prozorima ne smije neograničeno povećavati jer postoji potreba za danjim svjetlom u prostoru. U ovom radu kao maksimalno vanjsko zasjenjenje je uzet koeficijent propuštanja u iznosu od 0,5.

Zaključci o tome kakvo bi se zasjenjenje trebalo postaviti na prozore može se izvući iz dosada opisanih rezultata. Ukoliko nije moguće postaviti oba zasjenjenja (unutarnje i vanjsko), zbog financijskih ili drugih razloga, preporuča se postavljanje vanjskog zasjenjenja. Idealno bi bilo kada bi kut zakreta vanjskih žaluzina pratio kretanje Sunca, tj. kada bi žaluzine bile zatvorenije na istočnoj strani zgrade ujutro, na južnoj tokom cijelog dana, te na zapadnoj u popodnevним satima. S obzirom na to da tako nešto zahtijeva složeni regulacijski sustav, koji može biti vrlo skup, prijedlog je da se prozor na južnoj strani objekta jače zasjeni tokom cijelog dana, te da se zapadni prozor zasjeni u popodnevним satima, kad je sunce vrlo nisko, dok ostatak prozora može biti zasjenjen proizvoljno. Kao mogući prijedlog koliko povećati vanjsko zasjenjenje prozora može se uzeti za aluminijske žaluzine koje imaju mogućnost reguliranja kuta zakretanja. Taj kut ne bi trebao biti iznad 35° od horizontalne ravnine zbog potrebe za danjim svjetlom u prostoru, a faktor propuštanja 0,5 koja je uzet prilikom izrade preporučenog slučaja u ovome radu odgovara kutu zakreta od približno 30°.

Iz svega gore navedenog možemo zaključiti da dodatnim ulaganjem sredstava u sustav zasjenjenja prozora ne možemo nikako izgubiti, već samo zaraditi uslijed značajnih ušteda energije (za sustav hlađenja to je najčešće električna energija) u sezoni hlađenja.

6. Prijedlozi za buduća istraživanja

U ovome radu napravljena je analiza potrošnje energije za hlađenje i grijanje karakterističnog, idealiziranog, jednozonskog objekta. S obzirom da je ovaj rad poslužio isključivo kao školski primjer, mnoge su stvari u njemu idealizirane. Prvenstveno se tu mogu spomenuti zidovi i prozori. Zidovi su sastavljeni tako da zadovoljavaju potrebne karakteristike i vrijednosti koeficijenta prolaska topline, a da se pritom nije vodilo računa postoji li primjerice cigla ili izolacija upravo takvih dimenzija. Isto se to može reći i za prozore za koje je određeno koliku će površinu zida zauzimati neovisno o tome postoji li u komercijalnoj prodaji takva dimenzija prozora. Sam objekt je zbog jednostavnosti i proporcionalnosti napravljen sa kvadratnim temeljima, a s obzirom na to da površina objekta iznosi 250 m², duljina jednog brida zida je nerealnih 15,81 m.

Prilikom budućih istraživanja ove idealizacije se moraju uzeti u obzir te ih je, po mogućnosti, potrebno učiniti što realnijima. Prvo bi se trebale odrediti stvarne dimenzije zgrade i veličine zidova, nakon toga bi se trebale odrediti stvarne dimenzije pojedinih građevnih elemenata (cigle, izolacije, žbuke, itd.) ne bi li se zidovi prikazali što realnije. Potom slijedi određivanje stvarnih dimenzija prozora i njihovih zasjenjenja te „postavljanja“ tih prozora na pojedine zidove. Ovaj je projekt napravljen kao jednozonski bez ikakvih unutarnjih pregradnih zidova, što naravno nije za očekivati u stvarnom slučaju. Stoga se mora odrediti tlocrt zgrade sa svim pregradnim zidovima, te se moraju odrediti različite zone unutar prostora (kuhinja, kupaonica, hodnik, spavaća soba, itd.). Kad se prikupe i obrade svi ovdje navedeni podaci, tek se tada može reći da objekt sliči realnoj zgradi, te proračun napravljen uz pomoć tih podataka se najzad može koristiti za određivanje toplinskih i rashladnih opterećenja stvarnih građevina.

Dodatni prijedlog koji se može dati kako bi se istraživanje napravilo što kvalitetnije jest i kvalitetnija provjera dobivenih rezultata. Najbolji način za provjeru dobivenih rezultata jest sagraditi opisani objekt, postaviti u njega svu potrebnu mjernu opremu te izvršiti mjerenje tokom jedne godine te takve podatke onda usporediti sa simuliranim rezultatima. Naravno da takav razvoj događaja nije realno očekivati. Razlog tome su ogromni financijski troškovi za koje bi teško bilo naći sponzora.

7. Zaključak

U ovom radu analiziran je utjecaj gradnje i lokacije objekta na godišnju energiju potrebnu za grijanje, odnosno hlađenje karakteristične zgrade. Kako u Hrvatskoj prevladavaju dvije osnovne klime, kontinentalna i mediteranska, naglasak je dan na dva najveća hrvatska grada, Zagreb i Split. Nadalje, u obzir su uzete tri vrste gradnje ovisne o vremenskom razdoblju, tj. o važećim tehničkim propisima u to vrijeme. To su kronološki: zgrade sagrađene prije 1986. godine, zgrade sagrađene između 1986. i 2008. godine, te one najnovije sagrađene poslije 2008. godine koje su napravljene po propisima koji vrijede i danas. Kako na toplinske dobitke prostora najznačajniji utjecaj ima sunčevo zračenje, promatrana su četiri različita slučaja zasjenjenja; prozori bez zasjenjenja, samo sa vanjskim, odnosno samo sa unutarnjim zasjenjenjem, te slučaj sa oba zasjenjenja. Stoga, promatrana su ukupno 24 različita slučaja čiji su rezultati grafički i tablično prikazani u ovome radu.

Promatranje toplinskih gubitaka zgrade učinjeno je u samo 6 različitih slučajeva zbog toga što toplinski gubici ne ovise, ili vrlo malo ovise o zasjenjenju i sunčevom zračenju. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da energija utrošena na grijanje prostora isključivo ovisi u stupnju izoliranosti zgrade. Za Zagreb se može uočiti da su toplinski gubici prostora za dva starija tipa zgrade jako veliki te da ne zadovoljavaju najnoviju zakonsku regulativu. Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08) zahtijeva maksimalnu godišnju potrošnju energije za grijanje u vrijednosti od 90,76 kWh/m². Energija potrebna za grijanje dvije najstarije zgrade iznosi 418,64 kWh/m² i 183,59 kWh/m² godišnje. Navedenu regulativu jedino zadovoljava najnoviji tip zgrade (84,55 kWh/m² godišnje). U slučaju Splita situacija je nešto drugačija. Karakteristika same mediteranske klime jesu relativno blage zime, te je stoga potrošnja energije za grijanje osjetno manja nego u Zagrebu. Primjera radi objekt sagrađen po najnovijim standardima u Zagrebu godišnje za grijanje troši 84,55 kWh/m², dok isti takav objekt u Splitu troši svega 29,50 kWh/m². S tim u vidu ne iznenađuje činjenica da jedino najstariji tip zgrade bez izolacije ne zadovoljava današnju zakonsku regulativu. Potrošnja energije za grijanje tog objekta iznosi 215 kWh/m² godišnje.

Promatranje toplinskih dobitaka znatno je složenije te za to još uvijek nema zadovoljavajućih zakonskih odredbi. U ovom su slučaju promatrane sve 24 različite varijante. Generalno govoreći toplinski dobitci opadaju sa boljom izoliranosti prostora, međutim ukoliko je prostor izrazito dobro izoliran (današnja gradnja) te ukoliko nema zadovoljavajućih zasjenjenja na prozorima događa se kontra-efekt, povećava se energija potrebna za hlađenje. Uzme li se za primjer objekt sagrađen između 1986. i 2008. godine sa unutarnjim zasjenjenjem na prozorima, te objekt sagrađen nakon 2008. godine jednakog zasjenjenja, energija potrebna za hlađenje starije zgrade iznosi 23,46 kWh/m²god, a novije 35,96 kWh/m²god. Preduvjet za ovu usporedbu jest da su oba promatrana slučaja sa područja istog grada, u ovom slučaju Zagreba. To se događa zbog toga što sunce zračenjem tijekom dana kroz prozore zagrijava unutarnje zidove prostora, koji potom naravno konvekcijom zagrijavaju zrak. Dok se slabo izolirani zidovi hlade u noćnim satima kad je vanjska temperatura niža, dobro se izolirani zidovi zbog niskog

koeficijenta prolaza topline ne hlade, ili je bolje reći da se vrlo sporo hlade. Ovaj je problem rješiv pažljivijim odabirom i regulacijom zasjenjenja. Koliko samo zasjenjenje ima utjecaja na rashladno opterećenje govore sljedeći podaci. Uzme li se zgrada napravljena prije 1986. godine u Splitu, sa oba zasjenjenja na prozorima (vanjsko i unutarnje) njeno relativno rashladno opterećenje iznosi 51,38 kWh/m²god, te nešto novija zgrada (sagrađenu između 1986. i 2008. godine) istog zasjenjenja u istom gradu, čije relativno rashladno opterećenje iznosi 41,79 kWh/m²god, vidi se da je razlika 19%, dok je razlika između objekta bez zasjenjenja (67,53 kWh/m²god) i onog sa zasjenjenjem (51,38 kWh/m²god), za zgradu građenu prije 1986. godine preko 25%.

U konačnici se može zaključiti da je problem uštede energije radi toplinskih gubitaka pretežito riješen uvođenjem zakonske regulative 2008. godine, dok se kod toplinskih dobitaka preporuča uložiti nešto više sredstava u sustav zasjenjenja, jer se time osiguravaju značajne uštede direktno energije, a posredno i novca.

Literatura

Ćurko T., Hlađenje i dizalice topline, Radni priručnik, FSB Zagreb, 2008.

TRNSYS Priručnik, 2000.

ASHRAE Handbook, Fundamentals, Atlanta, 2005.

VDI 2078: Cooling Load Calculation of Air-conditioned Rooms (VDI Cooling Load Regulations), 1996.

EN 12831: Sustavi grijanja u građevinama - Postupak proračuna normiranoga toplinskog opterećenja (EN 12831:2003), 2003

Balen I., Podloge za predavanja iz kolegija „Grijanje“, Radni priručnik, 2007.

Balen I., Podloge za predavanja iz kolegija „Klimatizacija“, Radni priručnik, 2007.

Galović A., Termodinamika 2, FSB Zagreb, 2003.